

## Эволюция острова-призрака (банки/острова Кумани) в юго-западной части Каспийского моря

М. И. Митягина<sup>1</sup>, А. Г. Костяной<sup>2,3,4</sup>, М. Д. Кравчишина<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Институт космических исследований РАН, Москва, 117997, Россия*  
E-mail: mityag@iki.rssi.ru

<sup>2</sup> *Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН, Москва, 117997, Россия*  
E-mails: kostianoy@gmail.com, kravchishina@ocean.ru

<sup>3</sup> *Московский университет имени С. Ю. Витте, Москва, 115432, Россия*

<sup>4</sup> *Майкопский государственный технологический университет*  
Майкоп, 385000, Россия

Приведены результаты спутникового мониторинга эволюции острова-призрака (банки/острова Кумани), расположенного в юго-западной части Каспийского моря, за период с 1993 по 2025 г. Мониторинг проводился на основе данных многоспектральных сенсоров оптического диапазона MSI (*англ.* Multispectral Instrument) искусственных спутников Земли (ИСЗ) Sentinel-2A, -2B, сканирующих радиометров TM (*англ.* Thematic Mapper) ИСЗ Landsat-5, ETM+ (*англ.* Enhanced Thematic Mapper Plus) ИСЗ Landsat-7, OLI (*англ.* Operational Land Imager) и OLI-2 ИСЗ Landsat-8, -9, а также данных радиолокатора с синтезированной апертурой C-SAR (*англ.* Synthetic Aperture Radar, C-band) ИСЗ Sentinel-1A, -1B. Используемые спутниковые данные обладают высоким пространственным разрешением 10–30 м, что позволило установить время появления острова и его исчезновения с морской поверхности, а также точные размеры. С 1861 г. остров периодически появляется в результате активности грязевого вулкана, существует несколько месяцев и затем исчезает, размываясь течениями. С помощью спутниковых данных рассмотрены основные этапы изменения подводного грязевого вулканизма в районе банки Кумани за более чем тридцатилетний период: относительно длительные периоды спокойной грифонной деятельности и спорадическая активизация с массовым выбросом газоводогрязевой смеси — пароксизмальная фаза извержения, сопровождающаяся распространением на поверхности воды ярко выраженных языкообразных шлейфов от банки/острова. Установлено, что в районе банки Кумани нет признаков высачивания нефти на поверхность дна, поскольку на акватории моря вокруг неё не наблюдается нефтяная плёнка на поверхности воды, в отличие от лежащей южнее акватории, которая характеризуется постоянной разгрузкой флюидов нефти на дне. Обсуждаются различные механизмы появления и исчезновения острова на поверхности моря, включая изменение уровня Каспийского моря.

**Ключевые слова:** Каспийское море, банка/остров Кумани, грязевые вулканы, острова, спутниковые изображения, спутниковый мониторинг, спутниковая радиолокация, данные видимого диапазона, C-SAR, Sentinel-1, MSI Sentinel-2, OLI Landsat-8, OLI-2 Landsat-9

Одобрена к печати: 17.03.2025

DOI: 10.21046/2070-7401-2025-22-2-267-281

### Введение

С 1995 г. уровень Каспийского моря постоянно снижается и к зиме 2024/2025 г. достиг –29,5 м в Балтийской системе высот (Kostianoy, Pesic, 2024). Таким образом, снижение уровня составило около 3 м и его положение преодолело отметку в –29,0 м, которая была достигнута в 1977 г. и являлась минимумом за последние 500 лет (Гинзбург и др., 2021; Kostianoy, Pesic, 2024). Обмеление Каспийского моря существенным образом сказалось на изменении береговой линии и привело к появлению или слиянию островов, увеличению их площади, выдвиганию дельты Волги и исчезновению крупных заливов в мелководном Северном Каспии. Так, например, залив Мёртвый Култук и его продолжение залив Кайдак в северо-восточной части моря вновь пересохла, превратившись в обширный сор (солончак) (Ginzburg et al., 2024). В меньшей степени это коснулось глубоководных частей моря —

Среднего и Южного Каспия, однако и здесь наблюдаемое снижение уровня моря привело к существенным переменам. К 2021 г. площадь лагуны Энзели сократилась примерно на 55 % по сравнению с её значением в 1995 г., лагуны Гомишан — примерно на 98 %, залива Горган — на 40 %, залива Кызыл-Агач (Гызыл-Агадж) — на 41 % и залива Туркменбаши — на 30 % (Ginzburg et al., 2024). Увеличился в размерах остров Огурчинский у восточного побережья Южного Каспия.

На сайте NASA (*англ.* National Aeronautics and Space Administration) 15 января 2025 г. была опубликована краткая заметка об острове-призраке (*англ.* “Ghost” Island), периодически появляющемся и исчезающем в западной части Южного Каспия на месте банки Кумани в результате деятельности подводного грязевого вулкана (<https://earthobservatory.nasa.gov/images/153799/satellites-spot-a-ghost-island/>). Были приведены три спутниковых изображения оптического диапазона, свидетельствующие, что 18 ноября 2022 г. на них не было не только острова на поверхности моря, но и подводной банки. Согласно данным NASA, 14 февраля 2023 г. остров появился на поверхности или в непосредственной близости от поверхности моря, и от него на юг простирался шлейф взмученных вод длиной 13 км (*рис. 1*). 25 декабря 2024 г. остров существенно уменьшился в размерах и шлейф значительно сократился (<https://earthobservatory.nasa.gov/images/153799/satellites-spot-a-ghost-island>).

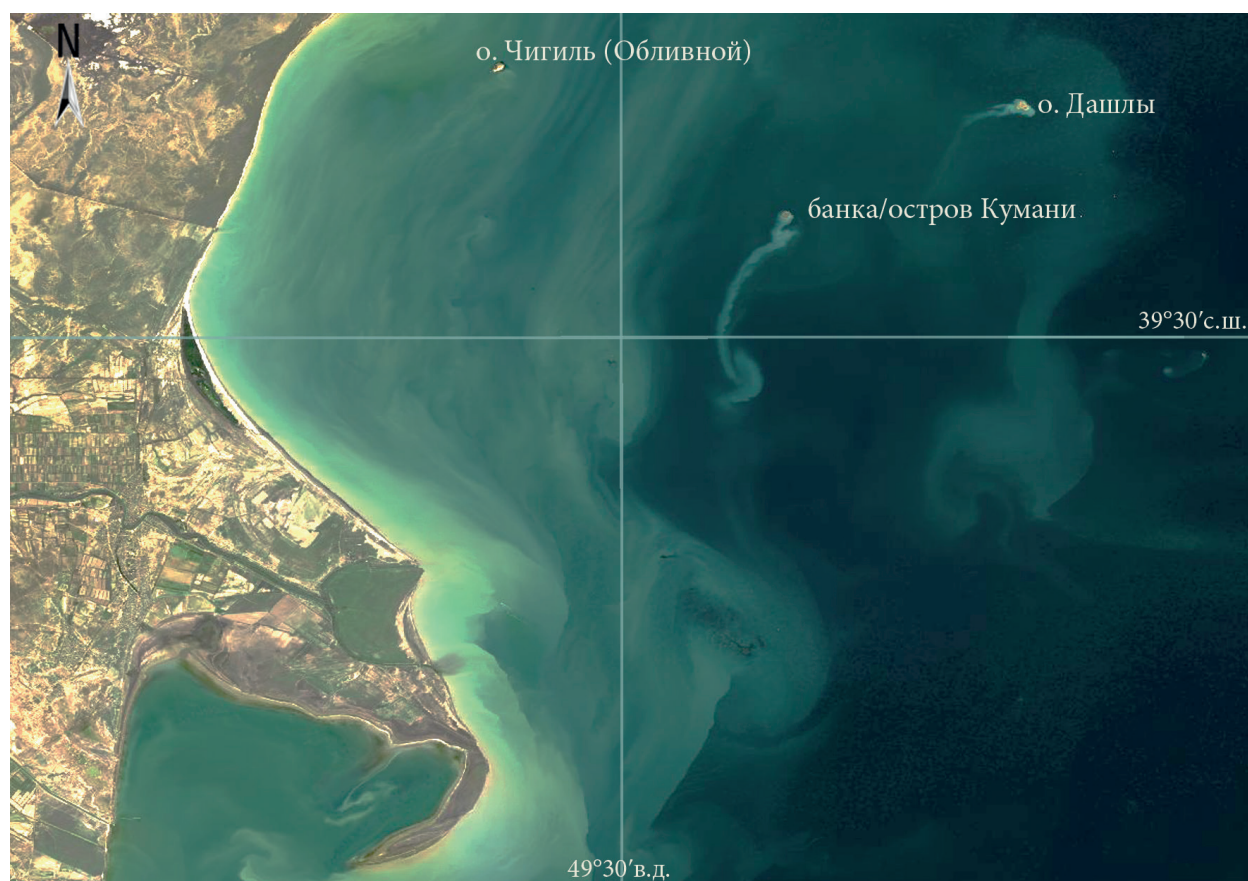


Рис. 1. Спутниковое изображение юго-западной части Каспийского моря от 14 февраля 2023 г., полученное сенсором OLI (*англ.* Operational Land Imager) Landsat-8. Светлые тона указывают на взмученные воды, переносимые прибрежным течением на юг к дельте Куры (<https://earthobservatory.nasa.gov/images/153799/satellites-spot-a-ghost-island>)

Исследуемый район находится в зоне наших интересов, поскольку ИКИ РАН уже более 20 лет занимается спутниковым мониторингом нефтяного загрязнения Каспийского моря. Добыча нефти на Апшеронском полуострове началась более 150 лет назад, а с 1924 г. ведётся

промышленная разработка шельфовых нефтяных месторождений. Общеизвестна высокая нефтегазоносность отложений Каспия и наличие многочисленных тектонических нарушений, по которым может происходить разгрузка глубинных углеводородсодержащих флюидов. Результаты проведённых нами многолетних спутниковых наблюдений (Лаврова и др., 2016, 2022; Mityagina, Kostianoy, 2024; Mityagina, Lavrova, 2016; Mityagina et al., 2019) показывают, что акватория в районе западного борта Южно-Каспийской впадины, лежащая к югу от залива Кызыл-Агач, относится к районам наиболее интенсивного загрязнения морской поверхности Каспийского моря. Нефтяное загрязнение здесь обусловлено проявлением подводного грязевого вулканизма, которое сопровождается разгрузкой смеси газов, ила и воды, содержащей углеводороды миграционной природы.

Несмотря на то, что юго-западная часть Каспийского моря — район активного грязевого вулканизма, зафиксировать момент наибольшей грифонной активности удаётся крайне редко. Но это получилось сделать, когда произошёл залповый выброс водогрязевой смеси (пароксизмальная фаза извержения), случившийся 4 июля 2021 г. на острове Дашлы, находящемся на расстоянии 12 км от банки Кумани. Это явление надёжно зафиксировано в спутниковых данных — в виде тепловой аномалии в данных радиометров SLSTR (*англ.* Sea and Land Surface Temperature Radiometer) Sentinel-3A, -3B и в радиолокационных данных. Было установлено, что площадь этого острова после извержения увеличилась в 2,4 раза (Лаврова и др., 2021; Ghaderi, Rahbani, 2022). Мы надеемся, что представленные в настоящей статье результаты, также основанные на спутниковых наблюдениях, внесут свой вклад в дальнейшее расширение наших знаний об активности флюидодинамических систем в юго-западной части Каспийского моря и позволят получить количественные оценки пространственно-временной изменчивости грязевулканической деятельности.

Кроме того, в прилегающем районе находятся две экологически и биологически значимые охраняемые природные территории — дельта Куры и залив Кызыл-Агач с Кызылагаджским заповедником, созданным ещё в 1929 г. (Ginzburg et al., 2024). Спутниковый мониторинг этих акваторий входит в число задач выполняемого нами гранта Российского научного фонда (РНФ) № 24-44-20006 «Пространственное планирование и спутниковый мониторинг морских охраняемых природных акваторий Каспийского моря» (2024–2026).

В 2009–2013 гг. в рейсах научно-исследовательского судна (НИС) «Рифт» и рейсе НИС «Никифор Шуреков» Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН проводил экспедиционные исследования в Южном Каспии с целью реализации четырёхмерных седименто-биогеохимических исследований в условиях аридной природной зоны по программе Президиума РАН «Система Каспийского моря» и в рамках гранта РНФ «Седименто-биогеохимические исследования морей европейской части России» под руководством академика А. П. Лисицына. Показано, что процессы седиментогенеза и раннего диагенеза в Южном Каспии тесным образом связаны, прежде всего, с засушливым климатом, уровнем моря и гидродинамическим режимом, морфологией дна, тектоническими условиями и процессами деформации осадочных толщ (грязевой вулканизм, разгрузка минеральных вод, метановые сипы и газовые гидраты) (Леин и др., 2016). Разгрузка глубинных углеводородсодержащих флюидов в Южно-Каспийском нефтегазоносном бассейне может происходить через грифоны грязевых вулканов, количество которых в Южном Каспии может превышать 230 (Алиев, 2014). В сейсмически активном районе между полуостровами Апшерон и Челекен особенно широко распространены подводные грязевые вулканы, приуроченные к линейным зонам неотектонических нарушений, и холодные метановые сипы. В местах выхода струйно-пузырьковых флюидов метановых сипов на дне моря могут образовываться карбонатные постройки в виде небольших бугров и конусообразных холмов. На вершинах подводных грязевых вулканов часто находят оолитовые пески — хемогенные карбонатные образования, состоящие из карбоната кальция, окислов железа и марганца. Распространение оолитовых песков и карбонатной цементации осадков часто приурочено к проявлениям грязевого вулканизма (Лаврушин, Кулешов, 1999). Из аутигенных (хемогенных) минералов в осадках широко представлен пелитоморфный кальцит. Современные (новокаспийские) отложения юго-западного шельфа Каспия представлены терригенным материалом выноса реки Куры,

материалом эолового привноса, абразии берегов и размыва Апшеронского порога, однако значительное количество материала поставляется выбросами грязевых вулканов и размывом грязевулканических островов и банок: грязевулканическая брекчия, илы с обломками горных пород размером от песчаных до крупных валунов (Алиев, 2014; Куприн, Багиров, 1972). Терригенный снос и благоприятные условия для карбонатообразования (Бруевич, 1978) определили тип осадков юго-западного шельфа Каспия: алевроитово-пелитовые терригенные илы слабо известковые хемогенные (согласно классификации П. Л. Безрукова и А. П. Лисицына (1960)). Продукты выноса грязевых вулканов в периоды спокойной деятельности и пароксизмов извержений принимают участие в формировании рельефа окружающих участков дна моря и формируют грязевулканические острова, банки, мели, хребты и обширные покровы вулканической брекчии, а также влияют на состав осадков (Алиев, 2014). С подводными грязевыми вулканами нередко связаны скопления газогидратов в осадочной толще (Гинсбург и др., 1988). Пароксизмальная фаза извержения вулканов обычно фиксируется от 5 до 16 раз в год, при этом объём выброшенного грязевулканического материала может достигать 800 млн м<sup>3</sup> (Алиев, 2014), что часто приводит к образованию острова высотой 3–5 м и более в течение нескольких часов. Такие грязевулканические острова существуют недолго (от недели до года), подвергаясь размыву и денудации и превращаясь в подводные банки и отмели. Извержения вулканов, как правило, обусловлены сейсмической активностью в регионе и могут сопровождаться землетрясением. Однако одной из возможных причин грязевулканических извержений могут быть также колебания уровня моря, которые приурочены к периодам его низкого стояния (Горин, 1952), что наблюдается в настоящее время.

### Банка/остров Кумани

Первые сведения об извержениях морских и наземных грязевых вулканов в Азербайджане — на островах Гил (Глиняный) и Харе-Зирия (Булла), на банке Янан-Тава (Погорелая плита), а также вулканов Боздаг-Гобу, Локбатан и Кейреки на Апшеронском полуострове опубликованы в 1810–1830 гг. Научное исследование грязевых вулканов Азербайджана связано с именем крупного знатока геологии Кавказа, действительного члена Санкт-Петербургской академии наук Германа Вильгельмовича Абиха (*нем.* Otto Wilhelm Hermann von Abich) (1806–1886). Поводом для изучения им этого природного феномена послужило грандиозное извержение банки Кумани (Чигил-дениз) в Южном Каспии в 1861 г.

Банка Кумани с координатами 39° 33' с.ш. и 49° 35' в.д. является подводной банкой в юго-западной части Каспийского моря и входит в состав Бакинского архипелага. Она расположена в 21 км к юго-востоку от мыса Бяндован, южнее острова Сенги-Муган (Свиной), между островом Дашлы и Погорелой Плитой. Её особенность заключается в том, что она образована подводным грязевым вулканом, периодические извержения которого превращают банку Кумани в остров. Затем остров размывается морем и снова превращается в подводную банку (Геология..., 1972; Зонн и др., 2019; Zonn et al., 2010).

О существовании банки/острова Кумани стало известно 7 мая (по старому стилю) 1861 г., когда её нашли моряки со шхуны «Туркмен». Остров был назван в честь командира шхуны — Феодосия Николаевича Кумани, высадившегося на остров и обнаружившего, что он состоял из мягкой, глубоко изборозждённой породы, которая была подсохшей на поверхности, но вязкой и горячей внутри (Кумани, 1865). Длина острова достигала 87 м, а высота — 3,5 м. В июне 1861 г., вскоре после обнаружения острова Кумани, сюда прибыл известный геолог Герман Абих, который в статье, посвящённой острову, дал его детальное описание (Кумани, 1865). В словаре Брокгауза и Ефрона (Кумани, 1896) мы находим следующую запись: «*Кумани — островок на Каспийском м., появившийся и исчезнувший в 1861 г., приблизительно в 80 в. к Ю от Баку. До 1861 г. о-в представлял подводную банку; в начале мая 1861 г. на этом месте был замечен островок (41 саж. длины). К ноябрю месяцу о-в исчез совершенно, а в янв. 1863 г. на месте его глубина моря достигала 12—13 фт.*»

После открытия остров просуществовал несколько месяцев с мая по ноябрь 1861 г. и затем исчез с поверхности моря. Следующее зафиксированное извержение грязевого вулкана наблюдалось в мае 1927 г. и сопровождалось выбросом столба пламени (до 300 м). В результате этого события подводная банка снова превратилась в остров, который вновь был размыт в течение месяца (Геология..., 1972). В ноябре 1928 г. произошло очередное извержение вулкана, приведшее к появлению острова общей площадью 6 га и высотой 3,3 м, но вскоре остров вновь превратился в подводную банку. Извержение сопровождалось огнём и длилось около 15 мин. Следующее извержение произошло в октябре 1939 г., когда вынос большого количества твёрдых пород ненадолго привёл к появлению острова. В декабре 1950 г. произошло новое извержение, в ходе которого на протяжении 15 мин над местом стоял столб огня высотой более 100 м и произошёл выброс примерно 2,5 млн м<sup>3</sup> сопочного материала, что привело к образованию крупного овального острова размером в 700×500 м и высотой 6 м. Однако к июню 1951 г. этот остров уменьшился в размерах, а в августе полностью исчез с поверхности моря. Следующее мощное извержение подводного вулкана произошло в декабре 1959 г., во время которого около 20 мин наблюдалось пламя высотой до 200 м, и вновь образовался остров, который просуществовал до 1962 г. (Геология..., 1972).

Эти отрывочные данные не дают представления о реальной периодичности возникновения и исчезновения острова Кумани с поверхности моря, а также о продолжительности его существования на поверхности. Также непонятно, насколько изменения уровня Каспия порядка 3–4 м (как снижение, так и повышение уровня) в XX–XXI вв. могут влиять на появление и исчезновение острова с поверхности моря. В настоящее время это можно определить с помощью данных дистанционного зондирования — оптических данных высокого пространственного разрешения и альтиметрических данных. С помощью данных спутниковой радиолокации возможно выявить, имеются ли сипажи нефти с подводной банки или с надводной части острова. Кроме того, можно попытаться установить наличие выбросов в атмосферу из грязевого вулкана, а также исследовать шлейфы взмученных вод, исходящие от подводной банки или острова.

Мы попытались ответить на все эти вопросы в настоящей статье на основе анализа разнообразной спутниковой информации, собранной нами с 1993 по 2025 г.

## Данные и методы

Представленные в статье результаты основаны на анализе большого массива многолетних спутниковых данных (табл. 1), полученных для района интереса с января 1993 по март 2025 г. с помощью многоспектральных сенсоров MSI (*англ.* Multispectral Instrument) искусственных спутников Земли (ИСЗ) Sentinel-2A, -2B, сканирующих радиометров ТМ (*англ.* Thematic Mapper) ИСЗ Landsat-5, ETM+ (*англ.* Enhanced Thematic Mapper Plus) ИСЗ Landsat-7, OLI и OLI-2 ИСЗ Landsat-8, -9 с разрешением 10–30 м при облачном покрытии, не превосходящем 50 %. Использовались также данные радиолокатора с синтезированной апертурой C-SAR (*англ.* Synthetic Aperture Radar, C-band) ИСЗ Sentinel-1A, -1B с разрешением 9,8 м.

Таблица 1. Используемые данные

| Сенсор                         | Временной промежуток                                         | Количество изображений |
|--------------------------------|--------------------------------------------------------------|------------------------|
| C-SAR Sentinel-1A, -1B         | октябрь 2014 – февраль 2025 г.                               | 532                    |
| TM Landsat-5                   | январь 1993 – октябрь 2007 г.;<br>март 2008 – ноябрь 2011 г. | 321                    |
| ETM+ Landsat-7                 | август 1999 – май 2003 г.                                    | 97                     |
| MSI Sentinel-2A, -2B           | сентябрь 2015 – февраль 2025 г.                              | 308                    |
| OLI Landsat-8, OLI-2 Landsat-9 | февраль 2013 – февраль 2025 г.                               | 581                    |

Всего было проанализировано 1307 спутниковых изображений поверхности Каспийского моря вблизи банки/острова Кумани, полученных в оптическом диапазоне электромагнитного спектра, и 532 радиолокационных изображения С-диапазона.

К сожалению, существует пробел в данных за 2012 г., связанный с тем, что в это время сенсор ТМ ИСЗ Landsat-5 завершил своё функционирование, данные сенсора ЕТМ+ ИСЗ Landsat-7 оказались практически непригодными для использования из-за неисправности корректора полосы охвата видоискателя этого прибора, ИСЗ Landsat-8 ещё не был выведен на орбиту. Искусственный спутник Земли Envisat, оснащённый радиолокатором с синтезированной апертурой, перестал функционировать в апреле 2012 г., а радиолокационный спутник Sentinel-1 ещё не был выведен на орбиту, поэтому радиолокационные данные в этот период времени также были недоступны.

Для анализа спутниковых данных применялся инструментарий и картографический интерфейс спутникового информационного сервиса STS (*англ.* See the Sea), входящего в состав Центра коллективного пользования «ИКИ-Мониторинг», в котором накоплен уникальный архив спутниковых данных более чем за 35 лет. Инструментарий STS предоставляет возможность комплексного анализа различных явлений и процессов, оценки их количественных и качественных характеристик, исследования пространственных и временных параметров, а также инструменты анализа для изучения условий возникновения и развития этих явлений (Лаврова и др., 2019).

Для выявления различных форм подводного вулканизма использовались изображения видимого диапазона, цветосинтезированные в естественных цветах. Для более точной интерпретации процессов и явлений, происходящих как на поверхности, так и в толще воды, на основе многоспектральных данных строились карты пространственно-временных флуктуаций теплового излучения (тепловых аномалий), используемые для выявления вулканов и газовых факелов, рассматривались также проявления дымов и облачности в непосредственной близости от банки/острова Кумани. Для этого при помощи инструментария сервиса STS проводился синтез по определённым комбинациям спектральных каналов (*табл. 2*). Восстанавливались также поля мутности по спутниковым данным оптического диапазона с помощью алгоритма Nechad (Nechad et al., 2015), интегрированного в сервис STS.

Таблица 2. Комбинации (RGB) спектральных каналов для различных видов синтеза

|                     | Спектральные каналы, мкм           |                                      |                                    |
|---------------------|------------------------------------|--------------------------------------|------------------------------------|
|                     | ТМ ИСЗ Landsat-5                   | OLI ИСЗ Landsat-8, -9                | MSI ИСЗ Sentinel-2A, -2B           |
| Естественный синтез | 0,63–0,69; 0,52–0,60;<br>0,45–0,52 | 0,63–0,68; 0,53–0,60;<br>0,450–0,515 | 0,65–0,68; 0,54–0,58;<br>0,45–0,55 |
| Тепловые аномалии   | 2,08–2,35; 0,76–0,90;<br>0,63–0,69 | 2,1–2,3; 0,85–0,88;<br>0,63–0,68     | 2,1–2,3; 0,79–0,90;<br>0,65–0,68   |
| Дымы и облачность   | 0,45–0,52; 0,76–0,90;<br>0,63–0,69 | 0,450–0,515; 0,85–0,88;<br>0,63–0,68 | 0,45–0,55; 0,79–0,90;<br>0,65–0,68 |

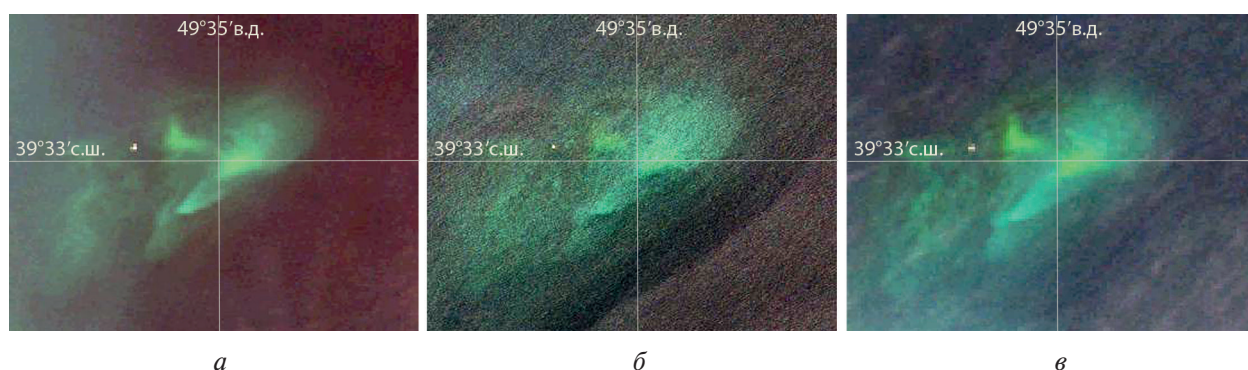
Факт поднятия банки выше уровня воды и существование острова уверенно фиксируется как по изображениям, полученным с помощью многоканальных сенсоров, так и по радиолокационным изображениям.

### Эволюция банки/острова Кумани с 1993 по 2025 г., выявленная по спутниковым данным

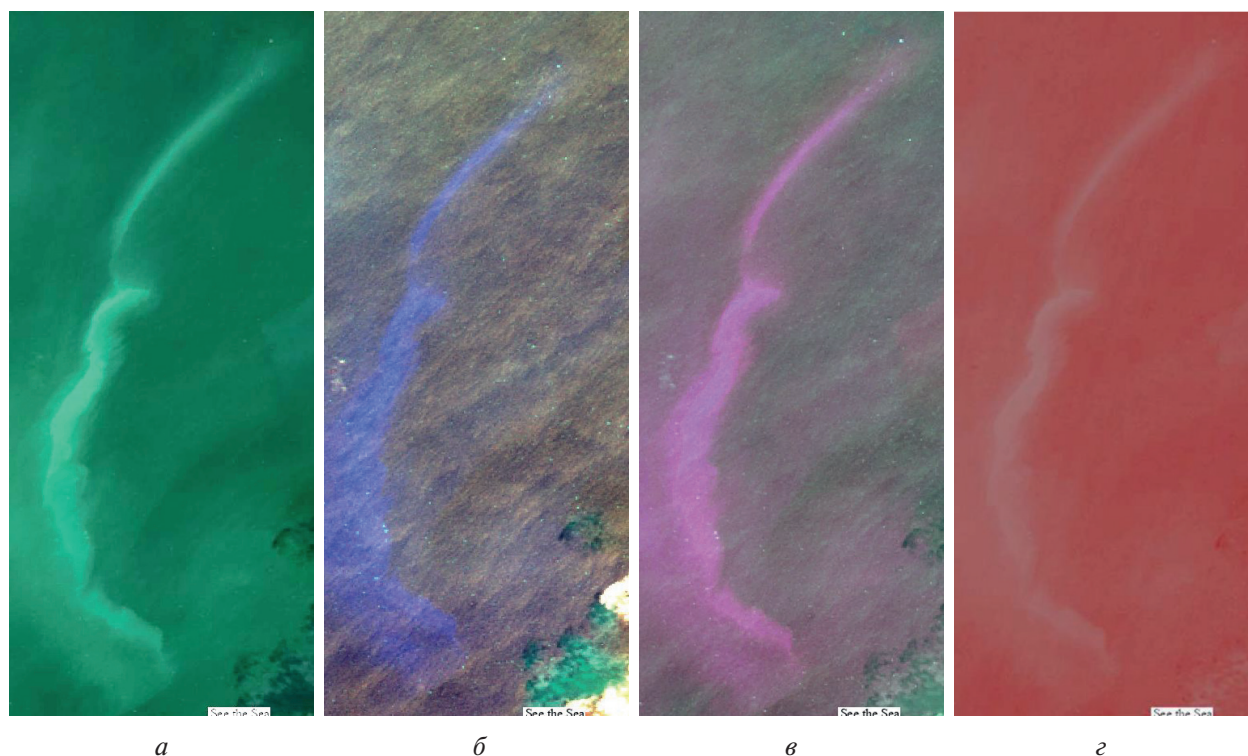
Данные спутниковых многоспектральных сенсоров позволили нам проследить основные этапы развития подводного вулканизма в районе банки Кумани за более чем тридцатилетний период.

Большинство спутниковых данных отображает относительно длительные периоды грифонной деятельности, когда продукты грязевого вулканизма в небольшом количестве относительно спокойно выделяются на поверхность дна, не достигая морской поверхности. В это время практически на всех безоблачных изображениях, полученных многоспектральными сенсорами в видимом диапазоне электромагнитного спектра, выявляются очаги подводного вулканизма, соответствующие, по всей видимости, местам локализации кратеров вулкана на морском дне. На каждом из цветосинтезированных изображений, приведённых на *рис. 2*, выделяются три подводных кратера.

Проявления подводного вулканизма в спокойные периоды грифонной деятельности не детектируются в полях мутности, тепловых аномалий, дымов и облачности.



*Рис. 2.* Проявления подводного вулканизма на спутниковых изображениях, синтезированных в естественных цветах по данным сенсоров: *а* — OLI Landsat-8 от 03.08.2015, 07:19 UTC (*англ.* Coordinated Universal Time); *б* — MSI Sentinel-2A от 05.06.2017, 07:38 UTC; *в* — OLI Landsat-8 от 16.06.2021, 07:19 UTC



*Рис. 3.* Примеры проявления шлейфа подводного извержения на изображениях, синтезированных по данным сканирующего радиометра OLI-2 Landsat-9 от 15.09.2022, 07:19 UTC: *а* — естественный синтез; *б* — тепловые аномалии; *в* — дымы и облачность; *г* — мутность

На этапе извержения происходят выбросы продуктов вулканизма больших объёмов, что проявляется на изображениях оптического диапазона в виде исходящих от банки Кумани ярко выраженных языкообразных шлейфов шириной в сотни метров, длина которых в отдельных случаях может достигать 20–25 км. Эти шлейфы проявляются в полях мутности, тепловых аномалий, отражающих наличие повышенного теплового потока, а также дымов и облачности, что является индикатором того, что жидкая водогазовая смесь, насыщенная газом, достигает морской поверхности с последующей эмиссией метана и других парниковых газов в атмосферу. Примеры проявления шлейфа длиной около 15 км от подводного извержения на изображениях, синтезированных по данным сканирующего радиометра OLI-2 ИСЗ Landsat-9 при различных комбинациях спектральных каналов, представлены на *рис. 3* (см. с. 273).

В различные годы на спутниковых изображениях выявлялось от одного до пяти случаев извержений, сопровождавшихся возникновением шлейфа. В отдельные годы такие случаи не выявлены. Следует, однако, заметить, что зависимость данных многоспектральных сенсоров от погодных условий приводит к некоторой фрагментарности получаемой с их помощью информации и явления, произошедшие на морской поверхности в условиях сильной облачности или плохой освещённости, не могут быть запотоколированы.

Нами зафиксированы также три продолжительных периода поднятия банки Кумани над уровнем моря и возникновения острова.

**В 1993–1995 гг.** остров наблюдался в течение 1 г. 10 мес (*рис. 4*, см. с. 275). Он был впервые детектирован на спутниковом изображении сенсора TM Landsat-5 18 мая 1993 г. Остров имел форму эллипса с главными осями, ориентированными вдоль осей запад-восток и север-юг, длиной 350 и 320 м. Его площадь, вычисленная по спутниковым данным, составляла около 0,087 км<sup>2</sup>. Остров наблюдался на спутниковых изображениях вплоть до 5 марта 1995 г., сильно уменьшившись к тому времени в размерах. В мае–июле 1995 г. остров на спутниковых снимках уже не детектировался, однако выявлялись интенсивные шлейфы, исходящие от подводной банки.

**В 2001–2002 гг.** остров наблюдался в течение 11 мес (*рис. 5*, см. с. 275). 21 марта 2001 г. на спутниковом изображении сенсора TM Landsat-5 был детектирован остров, имеющий форму почти правильного круга с диаметром около 310 м, площадь которого составляла примерно 0,075 км<sup>2</sup>. Он присутствовал на спутниковых изображениях до конца февраля 2002 г., значительно уменьшившись в размерах вплоть до нескольких пикселей на снимке.

**В 2023–2025 гг.** остров наблюдался в течение практически двух лет (*рис. 6*, см. с. 275). Впервые был выявлен 4 февраля 2023 г. одновременно на изображениях MSI Sentinel-2 и C-SAR Sentinel-1A. Он имел форму слегка вытянутого эллипса с главными осями 400 и 330 м и площадью около 0,11 км<sup>2</sup>. С тех пор остров был виден на всех радиолокационных и безоблачных оптических изображениях. К концу января 2025 г. его площадь уменьшилась примерно в пять раз. На спутниковых изображениях остров детектировался и в марте 2025 г.

Изменения формы и размеров острова от момента первого его обнаружения на спутниковом изображении до момента исчезновения в каждый из трёх периодов можно проследить по последовательности изображений, представленных на *рис. 4–6*. В подписях к рисункам указаны размеры острова на момент наблюдения, установленные по спутниковым данным.

Легко заметить, что во всех трёх случаях изменение формы и размеров острова происходило по одному сценарию. В начальный момент своего появления он имеет форму, близкую к кругу или слабо-вытянутому эллипсу. С течением времени остров вытягивается вдоль направления северо-восток–юго-запад, при этом обе оси эллипса укорачиваются, а площадь острова монотонно уменьшается. Постепенно остров деградирует, превращаясь в узкую полосу суши, и затем исчезает.

Обращает на себя внимание тот факт, что во всех случаях проявления острова на спутниковых изображениях наблюдается исходящий от острова шлейф, который особенно ярко проявляется в полях дымов и несколько слабее — в полях тепловых аномалий и мутности. Это может свидетельствовать о проявлениях пароксизмальных фаз извержений вулкана, сопровождающихся постоянными разгрузками водогазовой смеси и газов в толщу вод и в атмосферу.

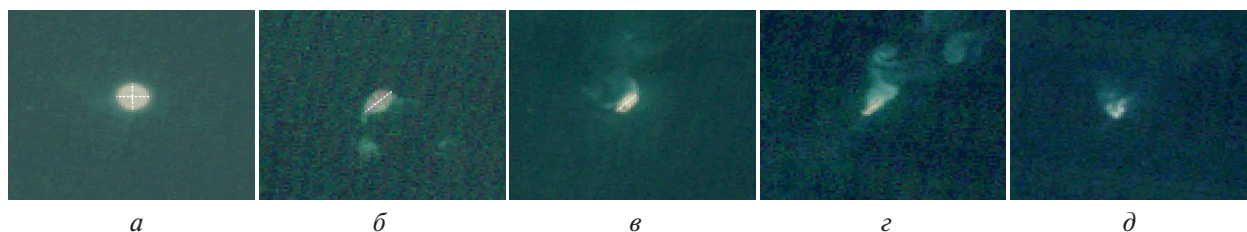


Рис. 4. Проявление острова Кумани на изображениях, синтезированных в естественных цветах по данным сканирующего радиометра ТМ ИСЗ Landsat-5: *а* — 18 мая 1993 г., площадь 0,087 км<sup>2</sup>, оси 350 и 320 м; *б* — 12 декабря 1993 г., площадь 0,05 км<sup>2</sup>, оси 330 и 185 м; *в* — 21 мая 1994 г., площадь 0,03 км<sup>2</sup>, оси 295 и 120 м; *г* — 13 ноября 1994 г., площадь 0,012 км<sup>2</sup>, оси 260 и 70 м; *д* — 5 марта 1995 г., площадь 0,007 км<sup>2</sup>, оси 120 и 60 м

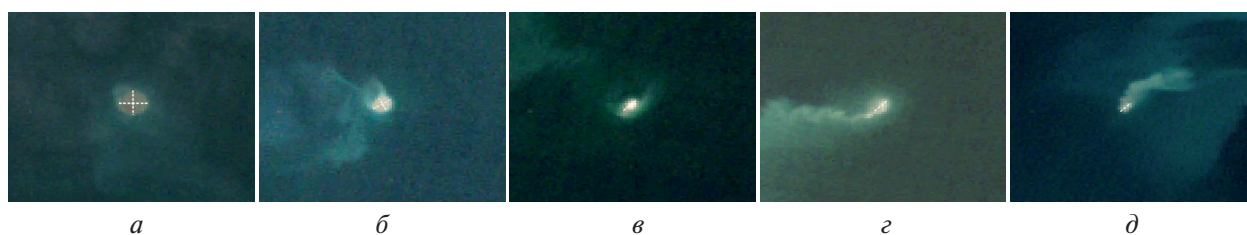


Рис. 5. Проявление острова Кумани на изображениях, синтезированных в естественных цветах по данным сканирующих радиометров: *а* — ТМ ИСЗ Landsat-5 от 21 марта 2001 г., площадь 0,075 км<sup>2</sup>, диаметр 310 м; *б* — ТМ ИСЗ Landsat-5 от 22 апреля 2001 г., площадь 0,023 км<sup>2</sup>, оси 220 и 150 м; *в* — ТМ ИСЗ Landsat-5 от 12 августа 2001 г., площадь 0,012 км<sup>2</sup>, оси 180 и 90 м; *г* — ТМ ИСЗ Landsat-5 от 13 сентября 2001 г., площадь 0,01 км<sup>2</sup>, оси 170 и 80 м; *д* — ЕТМ+ ИСЗ Landsat-7 от 28 февраля 2002 г., площадь 0,006 км<sup>2</sup>, оси 100 и 60 м



Рис. 6. Проявление острова Кумани на изображениях, полученных с помощью различных спутниковых сенсоров: *а* — MSI Sentinel-2A от 4 февраля 2023 г., площадь 0,11 км<sup>2</sup>, оси 400 и 330 м; *б* — OLI Landsat-9 от 1 августа 2023 г., площадь 0,05 км<sup>2</sup>, оси 310 и 210 м; *в* — MSI Sentinel-2B от 4 февраля 2024 г., площадь 0,03 км<sup>2</sup>, оси 250 и 150 м; *г* — C-SAR Sentinel-1A от 8 сентября 2024 г., площадь 0,02 км<sup>2</sup>, оси 200 и 130 м; *д* — OLI Landsat-9 от 2 февраля 2025 г., площадь 0,007 км<sup>2</sup>, оси 165 и 60 м

Следует отметить также, что ни на одном этапе развития вулканизма в этом районе на спутниковых изображениях морской поверхности в районе банки/острова Кумани не были выявлены естественные нефтепроявления (нефтяные плёнки), которые могли бы свидетельствовать о присутствии жидких углеводородов в продуктах вулканизма.

## Обсуждение и выводы

Азербайджан характеризуется высокой концентрацией грязевых вулканов на суше и на дне моря. Геологи насчитали более 300 грязевых вулканов на востоке Азербайджана и на прилегающем шельфе Каспийского моря, причём большинство из них находятся на суше. Этот район попадает в зону конвергенции, где сталкиваются Аравийская и Евразийская тектонические плиты, а образование подводных грязевых вулканов приурочено к неотекто-

ническим нарушениям шельфа (Якубов и др., 1971; Aliyev et al., 2009; Komatsu, Feyzullayev, 2024). Грязевые вулканы на суше Azerbaijan достаточно хорошо картированы и изучены, однако подводные грязевые вулканы остаются менее исследованными. Грязевые вулканы Azerbaijan связаны с обширным Южно-Каспийским нефтегазоносным бассейном и, как известно, выделяют легковоспламеняющиеся газы, такие как метан, в составе характерной водогазовой смеси. До сих пор неизвестно, как часто извержение грязевого вулкана на банке/острове Кумани сопровождается возгоранием метана и пламенем, поднимающимся на сотни метров.

Очевидно, что появление острова Кумани в первую очередь связано с активизацией подводного грязевого вулкана. Однако снижение уровня Каспия на 3–4 м также может приводить к осушке подводной банки и её появлению на поверхности, а повышение уровня на 3–4 м — к исчезновению острова в результате затопления водой. В нашем исследовании было показано, что как подъём уровня, так и его уменьшение на 3 м в XX и XXI вв., и особенно снижение на 3 м с 1995 по 2025 г., никак не влияло на сам процесс появления/исчезновения острова на/с поверхности моря. Это хорошо видно сопоставлением периодов существования острова на поверхности моря с графиком межгодовой изменчивости уровня Каспийского моря (рис. 7). Несмотря на это, следует отметить, что горизонтальные размеры острова и его высота, конечно, будут больше при более низком уровне моря и, следовательно, размываться, т.е. существовать, он должен дольше. Это можно будет проверить дальнейшим спутниковым мониторингом острова Кумани, который появился более двух лет назад (4 февраля 2023 г.) и продолжает существовать на момент написания этой статьи в марте 2025 г.

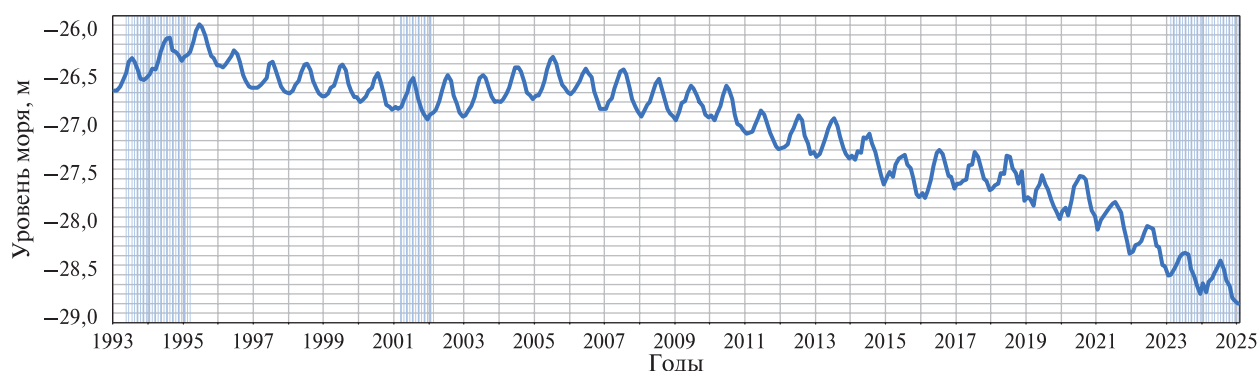


Рис. 7. Сезонная и межгодовая изменчивость уровня Каспийского моря с 27 сентября 1992 по 23 января 2025 г. по данным спутниковой альтиметрии (база данных HYDROWEB, <https://hydroweb.next.theia-land.fr/?lang=fr/>). Вертикальная штриховка отмечает периоды времени, когда остров Кумани появлялся на поверхности моря

Напомним, что когда остров открыли в мае 1861 г. его высота была 3,5 м, а в январе 1863 г. глубина на подводной банке была 3,5–4,0 м. Таким образом, за 21 мес высота острова уменьшилась примерно на 7 м, и он ушёл под воду, превратившись в подводную банку. Таких резких повышений уровня Каспия не отмечалось не только в этот период, но и за почти двухсотлетнюю историю наблюдений за уровнем Каспия. Так что этот фактор можно исключить из рассмотрения. Вертикальные движения земной коры в данном регионе — даже порядка 1 см в год — также можно не принимать во внимание, так как эти скорости на три порядка меньше наблюдаемых изменений уровня банки/острова. Приливы — отливы и связанные с ними приливные течения также можно исключить из рассмотрения, поскольку в этом районе Каспийского моря они малы — размах приливных колебаний всего 8 см (Медведев и др., 2017).

Таким образом, размыв и денудация острова течениями, ветровыми нагонами, ветровыми волнами, зыбью, штормами, ветровой эрозией и дождями являются основными механизмами его разрушения и превращения в подводную банку.

Если с мая 1861 по январь 1863 г., т.е. где-то за 640 дней остров размыло примерно на 7 м, то средняя скорость эрозии поверхности острова, а затем банки Кумани составила примерно 1 см в день, т.е. с каждого гектара площади острова ежедневно смывало порядка  $100 \text{ м}^3$  продуктов грязевулканической деятельности. Следует подчеркнуть, что это средние оценки, поскольку остров может быть размыв и в результате сильных штормов в течение нескольких дней. Тем не менее такая быстрая денудация острова или подводной банки может говорить о том, что они сложены легко размываемыми тонкими полужидкими или мягкими илами (или глинами), которые поставляет на дно моря грязевой вулкан. В результате размыва пород острова/банки образуются взвесенесущие потоки, которые на поверхности моря проявляются в виде хорошо выраженных шлейфов голубоватого-белого цвета. Такие шлейфы разительно отличаются от желтовато-коричневых речных плумов, поскольку известно (Лаврушин и др., 2019), что в составе глинистой пульпы из выбросов грязевого вулкана помимо тонкодисперсных частиц обломочных минералов рассеяны микрозернистые карбонаты (кальцит). Подобного цвета шлейфы можно наблюдать на спутниковых снимках во время крупных цветений кокколитофорид (планктонных микроводорослей, образующих на поверхности клеток известковые (кальцитовые) пластины), характерных для умеренных и субполярных регионов, особенно в Чёрном и Баренцевом морях (Копелевич и др., 2012; Митягина, Лаврова, 2019).

В какой-то степени аналогичная ситуация наблюдалась в Аравийском море, когда после землетрясения в западном Пакистане 24 сентября 2013 г. магнитудой 7,7 из подводного грязевого вулкана недалеко от порта Гвадар в Пакистане возник остров Залзала Кох. Он имел размер  $40 \times 90 \text{ м}$  и высоту 20 м. Менее чем через два месяца после появления острова его площадь начала уменьшаться. К концу 2016 г. остров практически полностью размыло течениями и приливами, хотя подводная банка была ещё видна. К 5 июля 2019 г. она полностью исчезла. Быстрое размывание острова объясняется богатыми глиной отложениями, которые выносятся на поверхность грязевыми вулканами (<https://earthobservatory.nasa.gov/images/145265/the-sea-takes-back-a-baby-island>). Примерно в 125 км к востоку ещё один небольшой круглый грязевой остров Малан образовался в нескольких километрах от побережья и дважды размывался за последние 25 лет (появлялся в 1999 и 2010 гг.). Также сообщается, что остров Малан является одним из трёх островов грязевых вулканов, которые ненадолго появились после разрушительного землетрясения и цунами в Белуджистане (провинция Британской Индии) 28 ноября 1945 г. (<https://earthobservatory.nasa.gov/images/145265/the-sea-takes-back-a-baby-island>).

Мы будем продолжать спутниковый мониторинг острова Кумани до его очередного размыва.

Подбор и первичная обработка исходной спутниковой информации осуществлялись М. И. Митягиной в рамках государственного задания, тема «Мониторинг», госрегистрация № 122042500031-8 в системе See the Sea, разработанной и поддерживаемой в ИКИ РАН. А. Г. Костяной и М. И. Митягина анализировали спутниковые данные в рамках и при поддержке гранта РНФ № 24-44-20006 «Пространственное планирование и спутниковый мониторинг морских охраняемых природных акваторий Каспийского моря» (2024–2026, <https://rscf.ru/project/24-44-20006/>). М. Д. Кравчишина анализировала эволюцию банки/острова Кумани с геологической точки зрения в рамках государственного задания № FMWE-2024-0020.

## Литература

1. Алиев А. А. Грязевые вулканы Каспийского моря // Геология и полезные ископаемые мирового океана. 2014. № 1. С. 33–44.
2. Безруков П. Л., Лисицын А. П. Классификация осадков современных морских водоемов // Тр. Ин-та океанологии. 1960. Т. 32. С. 3–14.

3. Бруевич С. В. Проблемы химии моря. М.: Наука, 1978. 335 с.
4. Геология СССР. Т. 47. Азербайджанская ССР. Геологическое описание. М.: Недра, 1972. 520 с.
5. Гинзбург А. И., Костяной А. Г., Лебедев С. А. Климатические изменения гидрометеорологических параметров Каспийского моря // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2021. Т. 18. № 5. С. 277–291. DOI: 10.21046/2070-7401-2021-18-5-277-291.
6. Гинзбург Г. Д., Грамберг И. С., Гулиев И. С., Гусейнов Р. А., Дадашев А. А., Иванов В. Л., Кротов А. Г., Мурадов Ч. С., Соловьев В. А., Теплеев Е. В. Подводногрязевулканический тип скоплений газовых гидратов // Докл. Акад. наук СССР. 1988. Т. 300. № 2. С. 416–418.
7. Горин В. А. Колебания уровня Каспийского моря и грязевой вулканизм // Докл. Акад. наук Азерб. ССР. 1952. Т. 8. № 3. С. 119–121.
8. Зонн И. С., Костяной А. Г., Жильцов С. С., Семенов А. В. Каспийский регион: энциклопедия. В 4 т. Т. 4. Энциклопедия от А до Я. М.: Московский ун-т им. С. Ю. Витте, 2019. 683 с.
9. Копелевич О. В., Буренков В. И., Вазюля С. В., Шеберстов С. В. Проблемы индикации кокколитофоридных цветений по спутниковым данным // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2012. Т. 9. № 5. С. 241–250.
10. Кумани // Географическо-статистический словарь Российской империи. В 5 т. / сост. П. Семёнов. Т. 2. СПб., 1865. С. 834–835.
11. Кумани // Энциклопедический словарь Брокгауза и Ефрона. В 86 т. Т. 17. СПб., 1896. С. 9.
12. Куприн П. Н., Багиров В. И. К познанию условий формирования отложений Среднего и Южного Каспия // Комплексные исслед. Каспийского моря. Т. 2. М.: МГУ, 1972. С. 91–114.
13. Лаврова О. Ю., Митягина М. И., Костяной А. Г. Спутниковые методы выявления и мониторинга зон экологического риска морских акваторий. М.: ИКИ РАН, 2016. 334 с.
14. Лаврова О. Ю., Митягина М. И., Уваров И. А., Лупян Е. А. Текущие возможности и опыт использования информационной системы See the Sea для изучения и мониторинга явлений и процессов на морской поверхности // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2019. Т. 16. № 3. С. 266–287. DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-3-266-287.
15. Лаврова О. Ю., Уваров И. А., Крашенинникова Ю. С. Спутниковые наблюдения извержения грязевого вулкана на о. Дашлы в Каспийском море 4 июля 2021 г. // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2021. Т. 18. № 3. С. 332–336. DOI: 10.21046/2070-7401-2021-18-3-332-336.
16. Лаврова О. Ю., Митягина М. И., Костяной А. Г. Спутниковые методы исследования изменчивости Каспийского моря. М.: ИКИ РАН, 2022. 250 с.
17. Лаврушин В. Ю., Кулешов В. Н. Оолиты Каспийского моря (закономерности распространения, изотопно-геохимические особенности) // Литология и полезные ископаемые. 1999. № 6. С. 596–618.
18. Лаврушин В. Ю., Алиев Ад. А., Покровский Б. Г. и др. Изотопно-геохимические характеристики карбонатов из выбросов грязевых вулканов Куринской впадины (Азербайджан) // Литология и полезные ископаемые. 2019. № 3. С. 211–233. DOI: 10.31857/S0024-497X20193211-233.
19. Леин А. Ю., Лисицын А. П., Кравчишина М. Д., Козина Н. В., Дара О. М. Современное осадкообразование: седиментогенез и ранний диагенез // Система Каспийского моря / отв. ред. А. П. Лисицын. М.: Науч. мир, 2016. С. 303–399.
20. Медведев И. П., Куликов Е. А., Рабинович А. Б. Приливы в Каспийском море // Океанология. 2017. Т. 57. № 3. С. 400–416. DOI: 10.7868/S0030157417020137.
21. Митягина М. И., Лаврова О. Ю. Аномальное зимнее цветение кокколитофорид в восточной части Чёрного моря, выявленное по спутниковым данным // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2019. Т. 16. № 1. С. 248–253. DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-1-248-253.
22. Якубов А. А., Али-Заде А. А., Зейналов М. М. Грязевые вулканы Азербайджанской ССР: Атлас. Баку: Изд-во Акад. наук Азерб. ССР, 1971. 256 с.
23. Aliyev Ad. A., Quliyev I. S., Rahmanov R. R. Catalogue of mud volcanoes eruptions of Azerbaijan (1810–2007). Baku: Nafta-Press, 2009. 106 p.
24. Ghaderi D., Rahbani M. Mud volcano as a feature of emergence in Caspian Sea // Oceanologia. 2022. V. 64. No. 3. P. 503–513. <https://doi.org/10.1016/j.oceano.2022.03.006>.
25. Ginzburg A. I., Kostianoy A. G., Gholamalifard M. et al. Ecologically and biologically significant marine protected areas in the Caspian Sea: A review // Ecologica Montenegrina. 2024. V. 76. P. 85–115. <https://doi.org/10.37828/em.2024.76.6>.
26. Komatsu G., Feyzullayev A. A. Geomorphology of subaerial mud volcanoes in Azerbaijan: Issues about edifice construction and degradation // Geomorphology. 2024. V. 463. Article 109352. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2024.109352>.
27. Kostianoy A. G., Pesic V. Advances in environmental monitoring of the Caspian Sea // Ecologica Montenegrina. 2024. V. 76. P. 201–210. <https://doi.org/10.37828/em.2024.76.12>.

28. Mityagina M. I., Kostianoy A. G. Areas of heavy permanent oil pollution of the Caspian Sea surface identified by use of satellite remote sensing // *Ecologica Montenegrina*. 2024. V. 76. P. 49–62. <https://doi.org/10.37828/em.2024.76.3>.
29. Mityagina M., Lavrova O. Satellite survey of inner seas: Oil pollution in the Black and Caspian Seas // *Remote Sensing*. 2016. V. 8. P. 875–899. <https://doi.org/10.3390/rs8100875>.
30. Mityagina M. I., Lavrova O. Yu., Kostianoy A. G. Main pattern of the Caspian Sea surface oil pollution revealed by satellite data // *Ecologica Montenegrina*. 2019. V. 25. P. 91–105. <https://doi.org/10.37828/em.2019.25.9>.
31. Nechad B., Ruddick K., Schroeder T. et al. CoastColour Round Robin datasets: a database to evaluate the performance of algorithms for the retrieval of water quality parameters in coastal waters // *Earth System Science Data*. 2015. V. 7. No. 2. P. 319–348. <https://doi.org/10.5194/essd-7-319-2015>.
32. Zonn I. S., Kostianoy A. G., Kosarev A. N., Glantz M. H. The Caspian Sea encyclopedia. Berlin; Heidelberg: Springer-Verlag, 2010. 527 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-11524-0>.

## Evolution of the ghost island (Kumani Bank/Island) in the southwestern Caspian Sea

M. I. Mityagina<sup>1</sup>, A. G. Kostianoy<sup>2,3,4</sup>, M. D. Kravchishina<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Space Research Institute RAS, Moscow 117997, Russia  
E-mail: mityag@iki.rssi.ru

<sup>2</sup> Shirshov Institute of Oceanology RAS, Moscow 117997, Russia  
E-mails: kostianoy@gmail.com, kravchishina@ocean.ru

<sup>3</sup> Moscow Witte University, Moscow 115432, Russia

<sup>4</sup> Maykop State Technological University, Maykop 385000, Russia

The paper presents results of satellite monitoring of the evolution of the ghost island (Kumani Bank/Island) located in the southwestern part of the Caspian Sea. The monitoring was carried out from 1993 to 2025 and was based on data from multispectral sensors of the optical range — MSI (Multispectral Instrument) of the Sentinel-2A, -2B satellites, scanning radiometers TM (Thematic Mapper) of the Landsat-5 satellite, ETM+ (Enhanced Thematic Mapper Plus) of the Landsat-7 satellite, OLI (Operational Land Imager) and OLI-2 of Landsat-8, -9 — as well as data from the C-SAR synthetic aperture radar of the Sentinel-1A, -1B satellites. We used satellite data with high spatial resolution of 10–30 m which allowed us to detect the time of appearance and disappearance of the island on the sea surface, as well as reveal its exact dimensions. Since 1861, the island has periodically appeared as a result of mud volcano activity, existed for several months and then disappeared, washed away by currents. Using satellite data, we considered the main stages of changes in underwater mud volcanism in the Kumani Bank area over more than thirty years: relatively long periods of quiet gryphon activity and then a sporadic activation with a massive release of a gas-water-mud mixture — a paroxysmal phase of the eruption accompanied by the spread of clearly expressed tongue-shaped plumes from the bank/island. We found out that in the Kumani Bank area there are no signs of seabed oil seepages, since no oil films are observed at the water surface in the sea area around it, unlike the water area lying to the south and characterized by a constant discharge of oil fluids at the bottom. In the paper, we discuss various mechanisms for the appearance and disappearance of the island on the sea surface, including changes in the level of the Caspian Sea.

**Keywords:** Caspian Sea, Kumani Bank/Island, mud volcanoes, islands, satellite images, satellite monitoring, satellite radar, visible range data, C-SAR, Sentinel-1, MSI Sentinel-2, OLI Landsat-8, OLI-2 Landsat-9

Accepted: 17.03.2025

DOI: 10.21046/2070-7401-2025-22-2-267-281

## References

1. Aliev A. A., Mud volcanoes of the Caspian Sea, *Geologiya i poleznye iskopaemye Mirovogo okeana*, 2014, No. 1, pp. 33–44 (in Russian).
2. Bezrukov P. L., Lisitsyn A. P., Classification of sediments of modern marine water bodies, *Trudy Instituta okeanologii*, 1960, V. 32, pp. 3–14 (in Russian).
3. Bruevich S. V., *Problemy khimii morya* (Problems of sea chemistry), Moscow: Nauka, 1978, 335 p. (in Russian).
4. *Geologiya SSSR. T. 47. Azerbaidzhanskaya SSR. Geologicheskoe opisanie* (Geology of the USSR. V. 47. Azerbaijan SSR. Geological description), Moscow: Nedra, 1972, 520 p. (in Russian).
5. Ginzburg A. I., Kostianoy A. G., Lebedev S. A., Climatic changes in the hydrometeorological parameters of the Caspian Sea (1980–2020), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2021, V. 18, No. 5, pp. 277–291 (in Russian), DOI: 10.21046/2070-7401-2021-18-5-277-291.
6. Ginsburg G. D., Gramberg I. S., Guliev I. S., Guseinov R. A., Dadashev A. A., Ivanov V. L., Krotov A. G., Muradov C. S., Soloviev V. A., Telepnev E. V., Subsea mud volcano type of gas hydrates accumulation, *Doklady Akademii nauk SSSR*, 1988, V. 300, No. 2, pp. 416–418 (in Russian).
7. Gorin V. A., Caspian Sea level fluctuations and mud volcanism, *Doklady Akademii nauk Azerbaidzhanskoi SSR*, 1952, V. 8, No. 3, pp. 119–121 (in Russian).
8. Zonn I. S., Kostianoy A. G., Zhiltsov S. S., Semenov A. V., *Kaspiiskii region: ehntsiklopediya. V 4 t. T. 4. Ehntsiklopediya ot A do Ya* (Caspian region: encyclopedia. In 4 v. V. 4. Encyclopedia from A to Z), Moscow: Moskovskii universitet imeni S. Yu. Vitte, 2019, 683 p. (in Russian).
9. Kopelevich O. V., Burenkov V. I., Vazyulya S. V., Sheberstov S. V., Problems of detection of coccolithophore blooms from satellite data, *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2012, V. 9, No. 5, pp. 241–250 (in Russian).
10. Kumani, In: *Geograficheskoe-statisticheskii slovar' Rossiiskoi imperii. V 5 t.* (Geographical and statistical dictionary of the Russian Empire. In 5 v.), P. Semenov (comp.), V. 2, Saint Petersburg, 1865, pp. 834–835 (in Russian).
11. Kumani, In: *Ehntsiklopedicheskii slovar' Brokgauza i Efrona. V 86 t* (Brockhaus and Efron Encyclopedic Dictionary. In 86 v.), V. 17, Saint Petersburg, 1896, p. 9 (in Russian).
12. Kuprin P. N., Bagirov V. I., Towards understanding the conditions of formation of sediments of the Middle and Southern Caspian, In: *Kompleksnye issledovaniya Kaspiiskogo morya* (Comprehensive research of the Caspian Sea), V. 2, Moscow: MGU, 1972, pp. 91–114 (in Russian).
13. Lavrova O. Yu., Mityagina M. I., Kostianoy A. G., *Sputnikovye metody vyyavleniya i monitoringa zon ehkologicheskogo riska morskikh akvatorii* (Satellite methods for detecting and monitoring marine zones of ecological risk), Moscow: IKI RAS, 2016, 334 p. (in Russian).
14. Lavrova O. Yu., Mityagina M. I., Uvarov I. A., Loupian E. A., Current capabilities and experience of using the See the Sea information system for studying and monitoring phenomena and processes on the sea surface, *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2019, V. 16, No. 3, pp. 266–287 (in Russian), DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-3-266-287.
15. Lavrova O. Yu., Uvarov I. A., Krasheninnikova Yu. S., Satellite observations of the eruption of a mud volcano on the Dashly Island in the Caspian Sea on July 4, 2021, *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2021, V. 18, No. 3, pp. 332–336 (in Russian), DOI: 10.21046/2070-7401-2021-18-3-332-336.
16. Lavrova O. Yu., Mityagina M. I., Kostianoy A. G., *Sputnikovye metody issledovaniya izmenchivosti Kaspiiskogo morya* (Satellite methods in the study of the Caspian Sea variability), Moscow: IKI RAS, 2022, 250 p. (in Russian).
17. Lavrushin V. Yu., Kuleshov V. N., Oolites of the Caspian Sea (patterns of distribution, isotope-geochemical features), *Litologiya i poleznye iskopaemye*, 1999, No. 6, pp. 596–618 (in Russian).
18. Lavrushin V. Yu., Aliev Ad. A., Pokrovsky B. G. et al., Trace element and isotopic features of carbonates from the mud volcano ejecta from the Kura Depression (Azerbaijan), *Litologiya i poleznye iskopaemye*, 2019, No. 3, pp. 211–233 (in Russian), DOI: 10.31857/S0024-497X20193211-233.
19. Lein A. Yu., Lisitsyn A. P., Kravchishina M. D., Kozina N. V., Dara O. M., Modern sedimentation: sedimentogenesis and early diagenesis, In: *Sistema Kaspiiskogo morya* (Caspian Sea System), A. P. Lisitsyn (ed.), Moscow: Nauchnyi mir, 2016, pp. 303–399 (in Russian).
20. Medvedev I. P., Kulikov E. A., Rabinovich A. B., Tidal oscillations in the Caspian Sea, *Oceanology*, 2017, V. 57, No. 3, pp. 360–375, DOI: 10.1134/S0001437017020138.
21. Mityagina M. I., Lavrova O. Yu., Abnormal winter bloom of coccolithophores in the eastern Black Sea revealed by satellite data, *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2019, V. 16, No. 1, pp. 248–253 (in Russian), DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-1-248-253.
22. Yakubov A., Ali-Zade A., Zeinalov M., *Gryazevye vulkany Azerbaidzhanskoi SSR: Atlas* (Mud volcanoes of the Azerbaijan SSR: an Atlas), Baku: Izd. Akademii nauk Azerbaidzhanskoi SSR, 1971, 256 p. (in Russian).

23. Aliyev Ad. A., Quliyev I. S., Rahmanov R. R., *Catalogue of mud volcanoes eruptions of Azerbaijan (1810–2007)*, Baku: Nafta-Press, 2009, 106 p.
24. Ghaderi D., Rahbani M., Mud volcano as a feature of emergence in Caspian Sea, *Oceanologia*, 2022, V. 64, No. 3, pp. 503–513, <https://doi.org/10.1016/j.oceano.2022.03.006>.
25. Ginzburg A. I., Kostianoy A. G., Gholamalifard M. et al., Ecologically and biologically significant marine protected areas in the Caspian Sea: A review, *Ecologica Montenegrina*, 2024, V. 76, pp. 85–115, <https://doi.org/10.37828/em.2024.76.6>.
26. Komatsu G., Feyzullayev A. A., Geomorphology of subaerial mud volcanoes in Azerbaijan: Issues about edifice construction and degradation, *Geomorphology*, 2024, V. 463, Article 109352, <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2024.109352>.
27. Kostianoy A. G., Pesic V., Advances in environmental monitoring of the Caspian Sea, *Ecologica Montenegrina*, 2024, V. 76, pp. 201–210, <https://doi.org/10.37828/em.2024.76.12>.
28. Mityagina M. I., Kostianoy A. G., Areas of heavy permanent oil pollution of the Caspian Sea surface identified by use of satellite remote sensing, *Ecologica Montenegrina*, 2024, V. 76, pp. 49–62, <https://doi.org/10.37828/em.2024.76.3>.
29. Mityagina M., Lavrova O., Satellite survey of inner seas: Oil pollution in the Black and Caspian Seas, *Remote Sensing*, 2016, V. 8, pp. 875–899, <https://doi.org/10.3390/rs8100875>.
30. Mityagina M. I., Lavrova O. Yu., Kostianoy A. G., Main pattern of the Caspian Sea surface oil pollution revealed by satellite data, *Ecologica Montenegrina*, 2019, V. 25, pp. 91–105, <https://doi.org/10.37828/em.2019.25.9>.
31. Nechad B., Ruddick K., Schroeder T. et al., CoastColour Round Robin datasets: a database to evaluate the performance of algorithms for the retrieval of water quality parameters in coastal waters, *Earth System Science Data*, 2015, V. 7, No. 7, pp. 319–348, <https://doi.org/10.5194/essd-7-319-2015>.
32. Zonn I. S., Kostianoy A. G., Kosarev A. N., Glantz M., *The Caspian Sea Encyclopedia*, Berlin; Heidelberg: Springer-Verlag, 2010, 527 p., <https://doi.org/10.1007/978-3-642-11524-0>.