

Оригинальная статья / Original article
УДК 551.435.36:504.064(262.5)
DOI: 10.18470/1992-1098-2025-4-17



Геоморфологические основы формирования и функционирования аква-территориального (морского) карбонового полигона «Каспий» на дагестанском побережье Каспийского моря

Загир В. Атаев^{1,2}, Алимурад А. Гаджиев¹, Абдула М. Гюльмагомедов¹,
Гаджибек С. Джамирзоев³, Абдулгамид А. Теймуров¹

¹Дагестанский государственный университет, Махачкала, Россия

²Дагестанский федеральный исследовательский центр РАН, Махачкала, Россия

³Государственный природный заповедник «Дагестанский», Махачкала, Россия

Контактное лицо

Загир В. Атаев, кандидат географических наук, доцент кафедры рекреационной географии и устойчивого развития, Дагестанский государственный университет; 367000 Россия, г. Махачкала, ул. Дахадаева, 21; ведущий научный сотрудник, лаборатория гидрогеологии и геозкологии, Институт геологии, Дагестанский федеральный исследовательский центр Российской академии наук; 367000 Россия, г. Махачкала, ул. М. Ярагского, 75.
Тел. +79289611097
Email zagir05@mail.ru
ORCID <https://orcid.org/0000-0001-7731-5594>

Формат цитирования

Атаев З.В., Гаджиев А.А., Гюльмагомедов А.М., Джамирзоев Г.С., Теймуров А.А.
Геоморфологические основы формирования и функционирования аква-территориального (морского) карбонового полигона «Каспий» на дагестанском побережье Каспийского моря // Юг России: экология, развитие. 2025. Т.20, N 4. С. 178-189. DOI: 10.18470/1992-1098-2025-4-17

Получена 27 сентября 2025 г.

Прошла рецензирование 1 декабря 2025 г.

Принята 8 декабря 2025 г.

Резюме

Цель: исследование геоморфологического строения, морфодинамики и ландшафтно-экологических особенностей дагестанского побережья Каспийского моря для научного обоснования создания аква-территориального карбонового полигона «Каспий». Особое внимание уделено обоснованию уникальности полигона как первой в России и мире площадки подобного типа, формируемой на крупном внутриматериковом замкнутом водоёме.

Использован комплексный анализ литературных данных, материалов дистанционного зондирования (Sentinel-2, Landsat-8), цифровых моделей рельефа и полевых наблюдений. Применены методы геоморфологической типизации берегов, анализа динамики береговой линии и оценки ландшафтно-экологических рисков.

Установлено, что современная регрессия уровня Каспийского моря вызывает интенсификацию аккумулятивных процессов: рост кос и баров, обмеление лагун, расширение солончаковых и песчаных массивов. Выявлена высокая чувствительность дельтовых комплексов Терека, Сулака и Самура к изменениям уровня моря и речного стока. Оценены основные ландшафтно-экологические риски: опустынивание, вторичное засоление, деградация водно-болотных угодий.

Обоснована необходимость создания карбонового полигона «Каспий» как ключевой и в то же время уникальной площадки для долгосрочного мониторинга углеродного баланса и состояния прибрежных экосистем на крупном внутриматериковом замкнутом водоёме. Показано, что такой полигон не имеет аналогов в России и мире, что подчёркивает его значимость для изучения трансформирующихся природных систем и апробации ГИС-методов прогнозирования изменений береговой зоны в условиях динамичных природных и антропогенных процессов.

Ключевые слова

Каспийское море, дагестанское побережье, береговая геоморфология, морфодинамика, регрессия уровня моря, аккумулятивные берега, дельты Терека, Сулака и Самура, лагунно-барные системы, ландшафтно-экологические риски, дистанционное зондирование, ГИС-картографирование, карбоновый полигон «Каспий».

Geomorphological Foundations for the Formation and Functioning of the "Caspiy" Aqua-Territorial (Marine) Carbon Polygon on the Dagestan Coast of the Caspian Sea

Zagir V. Ataev^{1,2}, Alimurad A. Gadzhiev¹, Abdula M. Gyulmagomedov¹,
Gadzhibek S. Dzhamirzoev³, Abdulgamid A. Teymurov¹

¹Dagestan State University, Makhachkala, Russia

²Dagestan Federal Research Centre, Russian Academy of Sciences, Makhachkala, Russia

³Dagestansky State Nature Reserve, Makhachkala, Russia

Principal contact

Zagir V. Ataev, PhD (Geography), Associate Professor, Department of Recreational Geography and Sustainable Development, Institute of Ecology and Sustainable Development, Dagestan State University; 21 Dakhadaeva St., Makhachkala, Russia 367000; Leading Researcher, Laboratory of Hydrogeology and Geoecology, Institute of Geology, Dagestan Federal Research Centre, Russian Academy of Sciences; 75 M. Yaragsky St, Makhachkala, Russia 367000.
Tel. +79289611097
Email zagir05@mail.ru
ORCID <https://orcid.org/0000-0001-7731-5594>

How to cite this article

Ataev Z.V., Gadzhiev A.A., Gyulmagomedov A.M., Dzhamirzoev G.S., Teymurov A.A. Geomorphological Foundations for the Formation and Functioning of the "Caspiy" Aqua-Territorial (Marine) Carbon Polygon on the Dagestan Coast of the Caspian Sea. *South of Russia: ecology, development*. 2025; 20(4):178-189. (In Russ.)
DOI: 10.18470/1992-1098-2025-4-17

Received 27 September 2025

Revised 1 December 2025

Accepted 8 December 2025

Abstract

The study investigates the geomorphological structure, morphodynamics and landscape-ecological characteristics of the Dagestan coast of the Caspian Sea in order to provide a scientific rationale for establishing the aqua-territorial carbon polygon "Caspiy". Special attention is given to substantiating the uniqueness of this polygon as the first facility of its kind in Russia and worldwide to be created on a large inland closed water body. The study is based on a comprehensive analysis of published sources, remote sensing data (Sentinel-2, Landsat-8), digital elevation models and field observations. Methods applied include geomorphological typology of coasts, shoreline dynamics analysis and assessment of landscape-ecological risks.

It has been established that the ongoing regression of Caspian Sea level intensifies accumulative processes, including the growth of spits and bars, lagoon shallowing and expansion of saline and sandy landforms. High sensitivity of the Terek, Sulak, and Samur delta complexes to sea-level and river discharge variations has been identified. Key landscape-ecological risks have been assessed, including desertification, secondary salinisation and degradation of wetlands.

The study substantiates the need to establish the "Caspiy" carbon polygon as a key and at the same time unique platform for long-term monitoring of the carbon balance and coastal ecosystem dynamics on a large inland closed water body. It is shown that no analogous polygon exists in Russia or globally, which underscores its significance for studying the transformation of natural systems and for testing GIS-based methods for predicting coastal zone changes under dynamic natural and anthropogenic conditions.

Key Words

Caspian Sea, Dagestan coast, coastal geomorphology, morphodynamics, sea-level regression, accumulative coasts, river deltas (Terek, Sulak, Samur), lagoon and bar systems, landscape-ecological risks, remote sensing, GIS mapping, "Caspiy" carbon polygon.

ВВЕДЕНИЕ

Дагестанский сектор побережья Каспийского моря представляет собой сложную и высокодинамичную геосистему, формирование которой определялось сочетанием тектонических, палеогеографических и гидроклиматических факторов на протяжении позднелайстоцен-голоценового времени. Пространственное положение региона на стыке крупных структурных элементов – Скифской плиты, Передового и Южно-Каспийского прогибов – обусловило его специфику как зоны длительного осадконакопления, чередования морских и континентальных режимов и активной перестройки береговой линии. Роль хвалынских трансгрессий в формировании морских террас, переработке аллювиального материала и создании

условий для последующей аккумуляции детально показана в фундаментальных трудах [1; 2].

Современный ландшафтный облик побережья отражает взаимодействие морфоструктурных элементов, аккумулятивных форм рельефа и интенсивных экзогенных процессов, включая абразию, аккумуляцию, золую переработку, развитие солончаков и вторичное засоление. Особую актуальность исследованию придает продолжающаяся регрессия уровня Каспийского моря, сопровождающаяся значительными изменениями береговой зоны: сокращением акватории мелководий, трансформацией лагун, оголением морского дна и активным ростом кос и баров. Эти явления фиксируются как спутниковыми наблюдениями (рис. 1), так и долгосрочными гидроморфологическими данными.

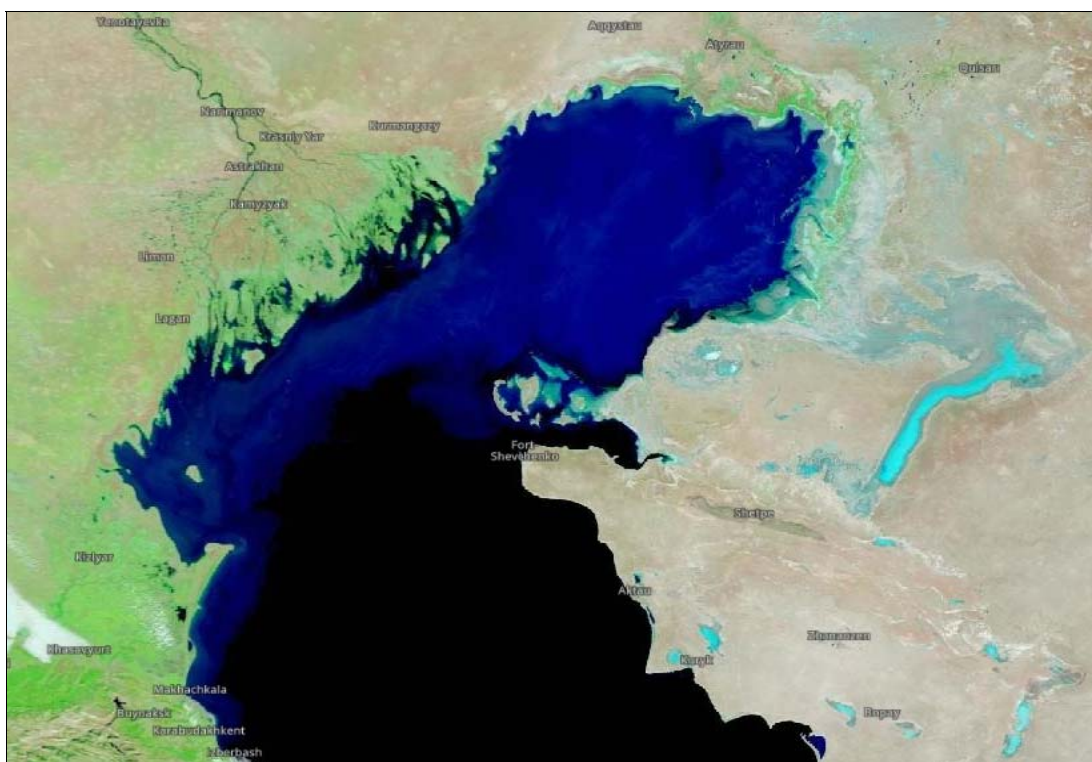


Рисунок 1. Современное состояние контура берегов северной части Каспийского моря (на конец октября 2025 года)

Figure 1. Current configuration of the shoreline in the northern part of the Caspian Sea (as of late October 2025)

Нарастающее хозяйственное освоение прибрежных территорий – строительство портовой и энергетической инфраструктуры, ирригационное земледелие, расширение пастбищ – усиливает нагрузку на экологически уязвимые комплексы. Международные оценки подтверждают, что Каспийский регион входит в число зон с высоким риском деградации природных экосистем, связанных с изменением гидрологического баланса [3; 4].

Всё это обуславливает необходимость системного изучения геоморфологических условий формирования побережья, оценки его динамики и разработки научно обоснованных подходов к мониторингу природных процессов. Создание аква-территориального карбонового полигона «Каспий» представляется ключевым шагом для обеспечения комплексного наблюдения, моделирования углеродного баланса и изучения устойчивости прибрежных экосистем в условиях современных климатических и антропогенных изменений [5].

Основные задачи исследования включают:

- анализ геолого-структурных и палеогеографических предпосылок формирования побережья;
- изучение морфодинамики береговой зоны и её пространственно-временных изменений;
- оценку ландшафтно-экологических рисков и зон возможной деградации;
- обоснование научной роли карбонового полигона для долгосрочного мониторинга.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование основано на комплексном применении методов дистанционного зондирования, геоморфологического анализа, ландшафтного картографирования и интерпретации палеогеографических данных. В качестве основных источников использованы мультиспектральные данные Sentinel-2 (пространственное разрешение 10–20 м, временная дискретность 5 дней) [6] и материалы Landsat-8 (разрешение 30 м), которые позволяют фиксировать сезонную и межгодовую динамику береговой зоны,

изменения контуров лагун, кос, баров и мелководий [7–9]. Использовались также цифровые модели рельефа SRTM и ALOS PALSAR, что обеспечило возможность анализа морфоструктурных особенностей побережья и выявления участков, наиболее подверженных абразии или аккумуляции.

Для геоморфологического анализа применялись методы морфометрии, трасологические и профильно-линейные построения, дешифрирование спутниковых изображений, выделение микроформ рельефа. Важным элементом исследования стало использование палеогеографических реконструкций, представленных в работах Свиточа, Яниной [2], Рычагова [1], а также исследований процессов берегового морфогенеза Леонтьева и др. [3].

Полевые обследования включали описание литологических разрезов, характеристику типов берегов, выявление современных морфодинамических процессов (активные пляжи, зоны абразии, участки эоловой переработки, солончаки). Дистанционные данные проходили предварительную коррекцию, атмосферную нормализацию и классификацию методом спектральных индексов. Геоинформационные системы (ArcGIS, QGIS) использовались для построения карт и пространственного анализа [10].

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Геолого-геоморфологическое строение и палеогеография побережья

Дагестанское побережье Каспийского моря формировалось в условиях сложного взаимодействия тектонических структур, морских трансгрессий и регрессий, аллювиальных и эоловых процессов. Согласно работам [2], мощность осадочной толщи позднеплейстоценового возраста здесь достигает 20–60 м, увеличиваясь в направлении осевого прогиба Каспийской впадины. Морфоструктурный анализ показывает, что современные низменные аккумулятивные равнины сложены преимущественно за счёт переработки хвалыньских морских отложений и переотложения аллювия крупных рек [11; 12].

Береговая зона представляет собой сложную систему аккумулятивных форм: грядовых песков, баровых массивов, кос, лагунных понижений и солончаков. Для этих форм характерна выраженная пространственная неоднородность: от широких барово-косовых систем на севере до узких абразионно-аккумулятивных участков на юге, где береговая линия контролируется выходами коренных пород. Сравнение картографических материалов 1970–2020-х гг. фиксирует последовательное наращивание баров, удлинение кос, сокращение площади лагун и обнажение участков бывшего морского дна [13–15].

Палеогеографическая динамика побережья непосредственно связана с хвалыньскими трансгрессиями и последующими регрессиями Каспия [1; 15]. Морские террасы, прослеживаемые вдоль побережья, служат индикаторами высоких стояний уровня древнего моря [12; 16; 17]. В периоды регрессий происходило формирование обширных аккумулятивных низменностей, ландшафт которых сохранил черты древнеморского рельефа. Аллювиальные процессы в это время активно конкурировали с морскими, что приводило к развитию крупных палеодельтовых комплексов [18].

Современная динамика береговой зоны

Ключевым фактором современной динамики береговой линии дагестанского побережья является продолжающаяся регрессия уровня Каспийского моря, которая фиксируется инструментальными наблюдениями и многолетними рядами спутниковых данных Sentinel-2 и Landsat-8 [7; 19]. Анализ изменений за период 2016–2025 гг. выявил ряд устойчивых тенденций: увеличение площади аккумулятивных кос на 8–12 %, обмеление лагун и прибрежных мелководий, расширение солончаковых массивов за счёт осушения бывших акваторий, а также активное развитие баров и локальных пересыпей.

Данные долгосрочных исследований, в том числе работы Naderi Beni и соавт. [20], подтверждают циклический характер уровня Каспия с выраженным трендом к снижению в последние десятилетия [15; 21]. Падение уровня моря служит непосредственной причиной смещения береговой линии, усиления эоловой переработки осушенных территорий и формирования новых песчаных массивов [22]. Мониторинг этих процессов опирается на анализ спектральных индексов (NDWI, MNDWI, BSI), рассчитанных по временным сериям Sentinel-2, которые также демонстрируют сезонные колебания положения уреза воды [8; 9].

Морфогенез южной части побережья имеет более сложный характер. Здесь на фоне общей регрессии сочетаются абразионно-аккумулятивные процессы, обусловленные взаимодействием морского волнения с выходами коренных пород. Это приводит к локальным отступаниям береговой линии, формированию клифов и интенсивной переработке глинисто-алевритовых толщ (рис. 2).

Дельтовые комплексы Терека, Сулака и Самура

Дельтам рек Терека, Сулака и Самура принадлежит ключевая роль в морфодинамике дагестанского побережья. Эти природные системы функционируют как буферные зоны на стыке речного и морского режимов, где сочетаются процессы речной аккумуляции наносов, их последующей переработки морским волнением и эоловой перестройки. Согласно фундаментальным и современным исследованиям [23], каждая из дельт обладает уникальным комплексом характеристик, определяющим её реакцию на изменение уровня Каспия и климатические колебания.

Наиболее мощной и динамичной аккумулятивной структурой региона является дельта Терека. Она отличается разветвлённой сетью рукавов, обилием пересыпей, баров и кос, что свидетельствует об интенсивном поступлении наносов. Данная дельта демонстрирует повышенную чувствительность к регрессии уровня моря, активно наращивая площадь за счёт формирования новых островов и отмелей [18; 24].

Дельта Сулака характеризуется активным формированием баров и обособленных лагунных систем. Спутниковый мониторинг за период 2010–2024 гг. показывает, что перераспределение наносов здесь происходит особенно интенсивно в зоне пересыпей, что отражает высокую энергетику прибрежных процессов [7].

Дельта Самура представляет собой пример тесного взаимодействия морских и аллювиальных процессов. В условиях современной регрессии здесь наблюдается не только расширение площади аккумулятивных форм, но и активное развитие обширных эоловых песчаных массивов, что указывает на значительную роль ветровой переработки обнажающегося материала [22].

Таким образом, дельтовые комплексы выступают не только как важнейшие структурные элементы побережья, но и как высокочувствительные индикаторы его

современной динамики, что определяет их особую значимость для мониторинга в рамках карбонового полигона.

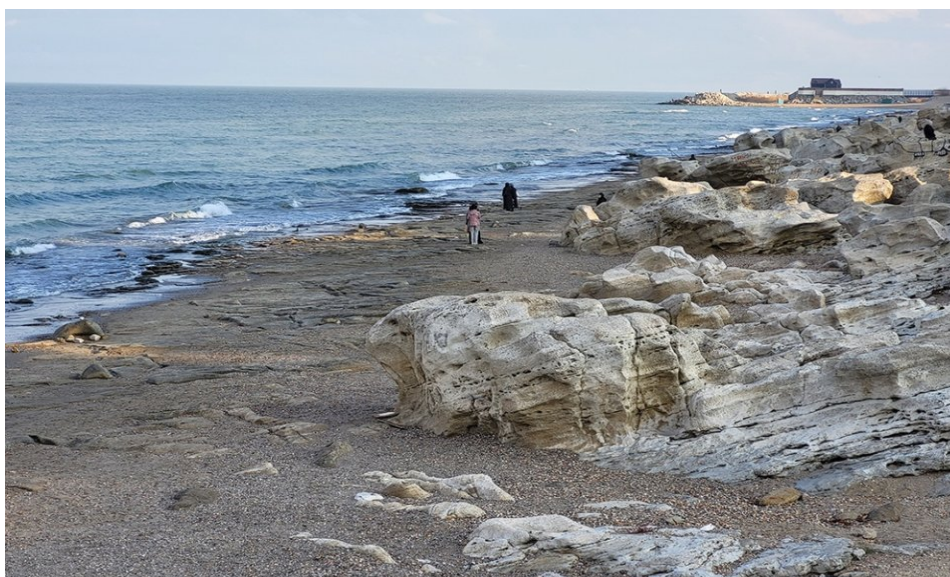


Рисунок 2. Скалисто-абразионный участок дагестанского побережья (район Махачкалы)

Примечание: волновая абразия размывает выходы известняков, формируя плоскую береговую террасу и осыпи обломочного материала. Подобные абразионные формы распространены точечно, преимущественно в местах непосредственного примыкания предгорий Кавказа к морю. Фото Загира Атаева

Figure 2. Rocky-abrasional segment of the Dagestan coast (Makhachkala area)

Note: Wave abrasion erodes limestone outcrops, forming a flat coastal terrace and accumulations of clastic material. Such abrasional landforms occur sporadically, primarily in areas where the foothills of the Caucasus directly adjoin the sea. Photo by Zagir Ataev

Ландшафтно-экологические риски побережья

Дагестанское побережье Каспийского моря представляет собой зону повышенных ландшафтно-экологических рисков, формирующихся на стыке интенсивных природных динамических процессов и растущего антропогенного пресса [10; 25]. Ключевые риски образуют комплекс взаимосвязанных и взаимообусловленных угроз, основными из которых являются:

Опустынивание и золотая дефляция. Регрессия моря и осушение обширных мелководий привели к образованию легко развеваемых песчаных и супесчаных субстратов. На этих территориях активизируются процессы дефляции, формируются подвижные пески и кучевые дюны, что ведет к потере почвенного покрова и трансформации ландшафтов в аридные аналоги [22].

Засоление и деградация почв. На обнажившихся участках морского дна и в зоне колебания уровня происходит первичное и вторичное засоление. Капиллярный подъём минерализованных грунтовых вод в условиях аридизации климата приводит к солонцеватости и осолонцеванию почв, делая их непригодными для естественной растительности и сельскохозяйственного использования [24].

Утрата и трансформация ключевых биотопов. Наиболее уязвимыми являются водно-болотные угодья и лагунные комплексы. Их обмеление, зарастание и полное осушение ведут к деградации мест обитания водоплавающих птиц, рыбных нерестилищ и уникальных сообществ прибрежной флоры [3]. Фрагментация и сокращение площади таких биотопов снижает биоразнообразие и устойчивость экосистем.

Прямое антропогенное воздействие. Указанные природные процессы усугубляются хозяйственной деятельностью: нерегулируемым выпасом, ускоряющим опустынивание; планировочными работами и

строительством, нарушающими естественный литодинамический баланс; загрязнением, связанным с портовой и рекреационной инфраструктурой [10].

Таким образом, формируется комплекс взаимосвязанных угроз, ведущих к снижению экологической ёмкости и продуктивности прибрежных территорий. Мониторинг и оценка этих рисков являются критически важной компонентой для научного обоснования мер адаптации и одной из практических задач создаваемого карбонового полигона.

Влияние рельефа на процессы секвестрации и эмиссии углерода

Геоморфологическое строение береговой зоны Дагестана является ключевым фактором, регулирующим углеродный цикл в прибрежных экосистемах, определяя пространственное распределение процессов секвестрации (поглощения) и эмиссии (выделения) углерода. Различные формы рельефа формируют специфические среды обитания и почвенные условия, которые предопределяют способность ландшафта к долгосрочному накоплению или, напротив, быстрой потере органического вещества (табл. 1).

Аккумулятивные формы: дельты и болотные равнины как поглотители углерода. Морские дельты и приустьевые болотные равнины выступают мощными природными поглотителями углерода. В дельтах Терека и Самура аккумулируются большие объёмы органического материала. Богатый органикой речной ил откладывается в плавнях и заводях, где в условиях постоянного увлажнения и анаэробно-биоза скорость разложения резко замедлена. Это приводит к консервации углерода в форме торфянистых отложений и илистого гумуса. Мощность сапропелевых толщ в заболоченных участках аграханско-кизлярского побережья может достигать нескольких метров,

представляя собой многовековое хранилище углерода [12; 17]. Отдельную роль играют дельтовые леса, такие как Самурский лиановый лес, который представляет собой наземный резервуар углерода с высокой биомассой древостоя и почв. Эта уникальная экосистема

функционирует как активный поглотитель CO₂, а специфический влажный микроклимат способствует долговременному удержанию углерода в богатых перегноем почвах [23; 24].

Таблица 1. Функция основных геоморфологических систем дагестанского побережья Каспийского моря в углеродном балансе

Table 1. Function of the main geomorphological systems of the Dagestan coast of the Caspian Sea in the carbon balance

№ п/п No	Геоморфологическая система Geomorphological system	Преобладающая роль в цикле углерода Dominant role in the carbon cycle	Ключевые процессы и механизмы Key processes and mechanisms	Пример объекта Example site	Значение для карбонового полигона Relevance for the carbon polygon
1	Дельтовые комплексы (Терек, Самур) River deltas (Terek, Samur)	Мощный поглотитель (сток) Powerful absorber (sink)	Аккумуляция аллювиального органического материала и торфообразование в анаэробных условиях; депонирование углерода в биомассе лесов Accumulation of alluvial organic matter and peat formation under anaerobic conditions; carbon storage in forest biomass	Самурский лиановый лес, плавни дельты Терека Samur liana forest, Terek delta floodplains	Ключевая площадка для оценки максимального потенциала секвестрации Key site for assessing the maximum sequestration potential
2	Лагунно-лиманские системы Lagoon and liman systems	Сбалансированный сток / источник Balanced sink / source	Фотосинтез и захоронение органического детрита с анаэробной продукцией метана (CH ₄) в условиях мелководий Photosynthesis and burial of organic detritus vs anaerobic methane (CH ₄) production in shallow waters	Аграханский залив, Сулакская бухта Agrakhan Bay, Sulak Bay	Мониторинг баланса парниковых газов (CO ₂ /CH ₄) в условиях обмеления Monitoring of greenhouse gas balance (CO ₂ /CH ₄) under shallowing water level
3	Аккумулятивные косы и бары Accumulative spits and bars	Формирующийся поглотитель Forming absorber	Захоронение органического вещества при обнажении морского дна и последующем зарастании новообразованных сухопутных участков Burial of organic matter upon seabed exposure and subsequent overgrowth of newly formed land areas	Коса о. Тюлений, пересыпь в дельте Сулака Spit of Tyulenyi Island, bar in the Sulak delta	Изучение начальных стадий углеродного накопления Studying the initial stages of carbon accumulation
4	Аридные и солончаковые равнины Arid and saline plains	Потенциальный источник эмиссии Potential emission source	Окисление органического вещества при засолении и дефляция (выдувание) почвенных частиц Oxidation of organic matter during salinisation and deflation (wind erosion) of soil particles	Побережье Ногайской степи, осушенные литорали Coast of the Nogai Steppe, drained littoral zones	Оценка рисков высвобождения углерода и опустынивания Assessment of carbon release and desertification risks
5	Абразионные клифы Abrasion cliffs	Незначительный локальный источник Minor local source	Эрозия почвенно-растительного покрова и растворение карбонатных пород (известняков) Erosion of soil-vegetation layer and dissolution of carbonate rocks (limestones)	Скальные участки побережья у Махачкалы Rocky coastal areas near Makhachkala	Фоновый мониторинг второстепенных процессов эмиссии Background monitoring of secondary emission processes

Лагуны и мелководья: баланс секвестрации и эмиссии. Лагуны, лиманы и мелководные заливы играют двойственную роль в углеродном балансе. С одной стороны, в опреснённых акваториях (например, Сулакской бухте) развиваются богатая водно-болотная растительность и фитопланктон, фиксирующие углерод в процессе фотосинтеза [8; 9]. Отмирающая органика захоранивается в донных отложениях. С другой стороны, в условиях мелководий и анаэробно-возможна активная продукция метана (CH_4) – сильного парникового газа. Однако в условиях устойчивого торфонакопления, как в Аграханском заливе, лагунные системы становятся нетто-поглотителями углерода. Регрессия моря способствует этому процессу: отступающая вода обнажает донные отложения, богатые органикой, которые, высыхая, захораниваются и включаются в состав суши [15; 19].

Аридные и динамичные формы: ограниченный потенциал и источники эмиссии. Сухие степные ландшафты, песчаные массивы Ногайской степи и приморские дюны обладают минимальным потенциалом секвестрации из-за разреженной растительности и бедных органикой почв [22]. Более того, эти территории могут выступать источниками углерода: активная дефляция выносит органическую пыль, а на засоленных солончаках, образующихся при отступлении моря, происходит окисление органического вещества с выбросом CO_2 [24]. На абразионных участках скальных берегов размыв пород, содержащих карбонатный углерод (известняки, мергели),

вовлекает его в геологический цикл, а эрозия почвенно-растительного слоя приводит к прямому выбросу CO_2 при разложении органики в море. Однако масштабы этих процессов несопоставимо меньше, чем в аккумулятивных ландшафтах.

Рельеф как основа для функционирования карбонового полигона

Таким образом, рельеф напрямую определяет локализацию «ловушек» и источников углерода. Аккумулятивные формы (торфяники дельты Терека, плавни, Самурский лес) являются ценнейшими природными накопителями углерода. Деградированные же ландшафты (осушенные болота, солончаки) могут превращаться в источники эмиссии [24]. Это делает геоморфологический мониторинг основой для управления карбоновым полигоном, позволяя отслеживать участки с разной углеродной функцией. Колебания уровня Каспия динамически меняют эту картину. Образование новых островов и кос (например, о. Чечень, о. Тюлений) в ходе обмеления создаёт новые площади для потенциального захвата углерода будущими экосистемами [10; 19]. Ярким примером служит динамика острова Тюлений, где наблюдается значительное нарастание площади (рис. 3). Высокая скорость формирования и трансформации его берегового рельефа, документированная по данным дистанционного зондирования (рис. 4, 5), является прямым следствием колебаний уровня моря [10].

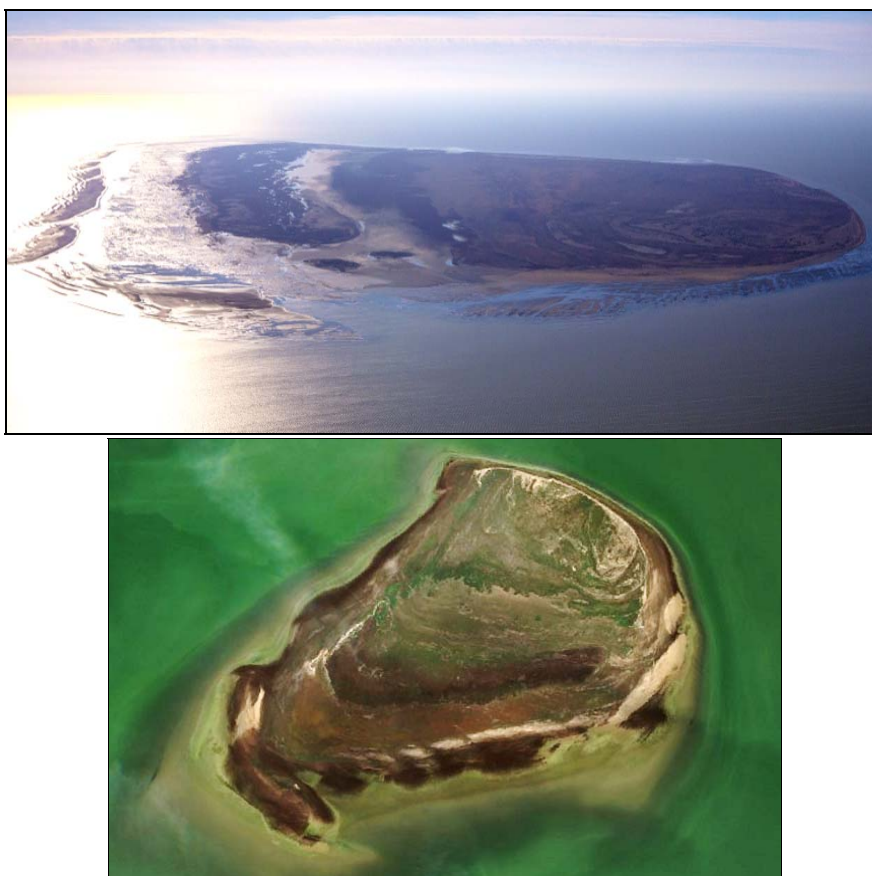


Рисунок 3. Вид на остров Тюлений с севера в ноябре 2015 года (верхнее фото) и 26 октября 2025 года (нижнее фото). Фото Г. Джамирзоева. *Примечание: Видно продолжающееся увеличение острова с северной, восточной и юго-западной стороны*

Figure 3. View of Tyuleniy Island (Russia) from the north in November 2015 (top) and aerial view on October 26, 2025 (bottom). Photo by G. Dzhampirzoev. *Note: The sequential images demonstrate the ongoing expansion of the island from its northern, eastern, and southwestern sides*



Рисунок 4. Контур литорали по периметру острова Тюлений (по состоянию на 26 октября 2025 г.)
Figure 4. Contour of the littoral zone around the perimeter of Tyuleniy Island (as of October 26, 2025)



Рисунок 5. Литораль в западной части острова Тюлений (фото от 1 ноября 2025 г.). Фото Г. Джамирзоева
Figure 5. Littoral zone in the western part of Tyuleniy Island (photo taken on 1 November 2025). Photo by G. Dzhamirzoev

В целом, рельеф Дагестанского побережья Каспия формирует контрастную мозаику экосистем – от мощных поглотителей углерода в депрессиях до потенциальных источников эмиссии на возвышенных и аридных участках. Дифференцированный учёт этой пространственной неоднородности и её динамики является фундаментальной задачей, решаемой в рамках создания и функционирования аква-территориального (морского) карбонового полигона «Каспий» [5; 27].

Геоморфологический облик дагестанского побережья Каспийского моря является определяющим

фактором для экосистемных процессов, включая углеродный цикл, и, следовательно, имеет фундаментальное значение для организации эффективной работы морского карбонового полигона «Каспий».

Во-первых, рельеф контролирует пространственное распределение экосистем с противоположными функциями в углеродном балансе. Обширные дельты, лагуны и заболоченные низменности – продукты аккумулятивного рельефа – выступают зонами интенсивной секвестрации углерода благодаря развитию тростниковых зарослей, торфонакоплению и осаждению

речного детрита. Эти территории функционируют как естественные поглотители CO₂, смягчающие парниковый эффект, и именно на них карбоновый полигон сможет оценить максимальный потенциал поглощения и разработать методы его повышения [5]. Напротив, на возвышенных сухих и абразионных участках, где рельеф препятствует удержанию влаги и органики, преобладают процессы эмиссии. Учёт этого контраста необходим для корректного расчёта общего углеродного бюджета региона.

Во-вторых, динамичность рельефа напрямую влияет на стабильность углеродного накопления. Подвижность береговой линии Дагестана, обусловленная трансгрессиями и регрессиями моря, способна за короткое время трансформировать ландшафт, приводя к высвобождению ранее накопленного углерода (например, при подтоплении леса или осушении торфяника) [13; 15; 24]. Таким образом, геоморфологический мониторинг служит основой для системы раннего предупреждения о потенциальных выбросах. Данные полигона о колебаниях уровня моря, эрозии берегов и росте дельт позволят прогнозировать переход экосистем из состояния поглотителя в источник углерода и наоборот [15; 20; 28].

В-третьих, особенности рельефа диктуют конкретные управленческие решения и технологические подходы на полигоне. Например, для намывных низменностей, подверженных засолению в условиях регрессии, могут быть рекомендованы мероприятия по искусственному увлажнению или восстановлению плавней для консервации углерода [26; 28]. На абразионных участках для предотвращения углеродных потерь может потребоваться проведение берегоукрепительных работ или фитомелиорация. Таким образом, геоморфологический анализ закладывает основу для разработки стратегий управления ландшафтом с целью максимизации его углеродосберегающей функции.

В-четвёртых, уникальные геоморфологические объекты побережья, такие как Самурский лиановый лес или аграханские плавни, являются готовыми природными лабораториями в рамках полигона. Их изучение позволяет

определить предельные возможности экосистем по аккумуляции углерода, а благоприятные условия, созданные рельефом (плоская дельта, мелководный залив), делают эти объекты ценнейшими долгосрочными резервуарами, состояние которых требует мониторинга [17; 23].

Полученные результаты позволяют переоценить роль дагестанского побережья как ключевого участка Прикаспия, где наиболее репрезентативно проявляются современные тенденции регрессии моря, перестройки дельтово-лагунных систем и трансформации ландшафтов. Комплексный анализ данных дистанционного зондирования, геоморфологических и палеогеографических исследований подтверждает согласованность наблюдаемых трендов: сокращение акватории Каспия сопровождается экспансией аккумулятивных форм, расширением зон опустынивания и ростом ландшафтно-экологических рисков [3; 10; 15].

В связи с этим создание аква-территориального карбонового полигона «Каспий» в дагестанском секторе побережья моря (рис. 6) является логичным и научно обоснованным шагом. Полигон, размещаемый в пределах южной части Прикаспийской низменности, станет первой на Каспийском море площадкой для комплексного мониторинга углеродного баланса в условиях динамичного изменения уровня моря [5; 29]. Особая уникальность создаваемого полигона заключается в том, что в России и мире не существует аналогичных исследовательских площадок на внутриматериковых замкнутых крупных водоёмах типа Каспийского моря, что делает проект принципиально новым и исключительно значимым. Его уникальность также обусловлена сочетанием быстро обмелевающей акватории, формирующихся литоральных зон и контрастных ландшафтов (дельты, лагуны, солончаковые и песчаные равнины), что позволяет развернуть типологически репрезентативную сеть стационаров для изучения потоков парниковых газов в трансформирующихся экосистемах [5; 26].

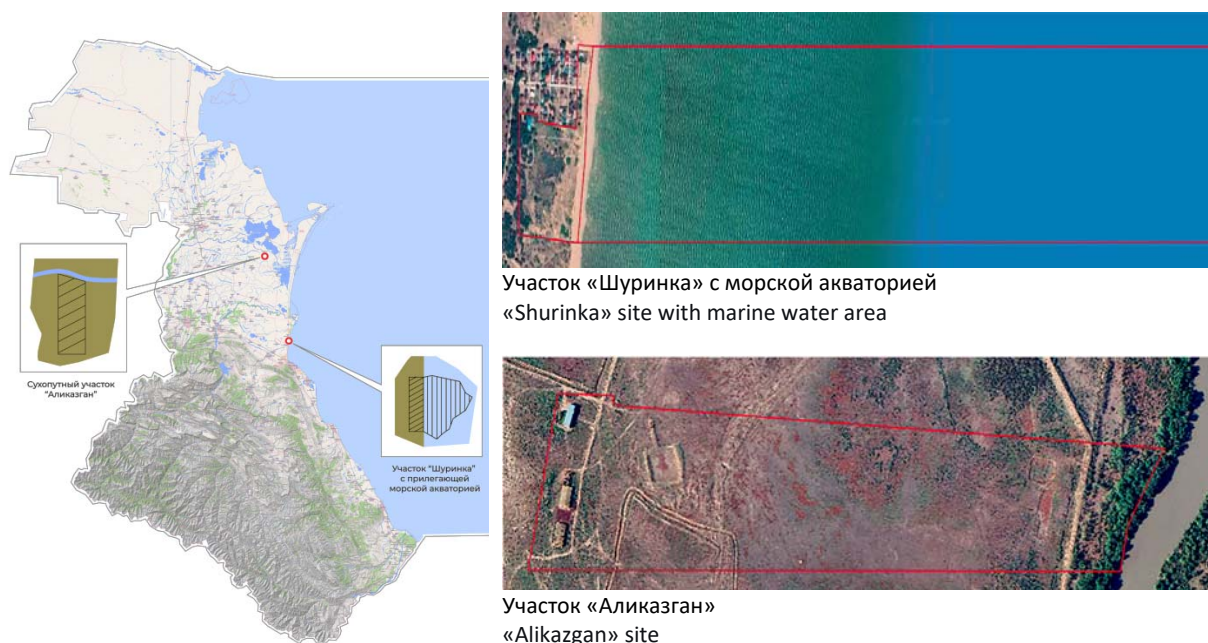


Рисунок 6. Картосхема участков аква-территориального карбонового полигона «Каспий»
Figure 6. Map of sites within the «Caspian» aqua-territorial carbon polygon

Для эффективного картографирования и мониторинга такой динамичной территории в рамках полигона требуется синтез классических геоморфологических методов с современными ГИС-технологиями и ДЗЗ. В качестве методологической основы целесообразно использовать трёхуровневую иерархическую схему:

- 1) морфоструктурное районирование на основе цифровых моделей рельефа (SRTM, ALOS PALSAR);
- 2) морфолого-генетическая классификация берегов и прибрежных низменностей;
- 3) тематическое картографирование динамики процессов и связанных с ними рисков [10; 11].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведённое исследование позволило выявить комплекс взаимосвязанных закономерностей формирования, динамики и современного состояния дагестанского побережья Каспийского моря. Установлено, что его облик исторически определялся чередованием хвалыньских трансгрессий и последующих регрессий, а в современный период ключевым фактором развития является продолжающаяся регрессия уровня моря. Она проявляется в увеличении площади аккумулятивных форм (кос, баров), обмелении лагун, расширении солончаковых и песчаных пространств и интенсификации эоловых процессов.

Общую роль в морфодинамике побережья играют дельтовые комплексы рек Терека, Сулака и Самура, демонстрирующие высокую чувствительность к изменениям уровня моря и стока. Современные процессы создают комплекс ландшафтно-экологических рисков, включающих опустынивание, вторичное засоление, деградацию водно-болотных угодий и усиление антропогенной нагрузки.

В этих условиях создание аква-территориального карбонового полигона «Каспий» в дагестанском секторе побережья является научно обоснованной и необходимой мерой. При этом уникальность будущего полигона заключается в том, что он станет первым в России и мире объектом подобного назначения, создаваемым на крупном внутриматериковом замкнутом водоёме – Каспийском море, что обеспечивает исключительные возможности для исследования углеродного цикла в условиях нестабильного уровня моря и быстро трансформирующихся прибрежных экосистем.

Полигон будет выполнять функции опорной площадки для комплексного мониторинга углеродного баланса, состояния экосистем и отработки методов прогнозирования. Геоморфологический каркас побережья определяет пространственное распределение как стоков углерода (дельта, плавни, леса), так и источников эмиссий (аридные и деградированные земли). Следовательно, эффективное управление полигоном требует дифференцированного подхода: сохранения и поддержки форм рельефа, способствующих секвестрации, и минимизации воздействия процессов, ведущих к эмиссии.

Таким образом, рельеф выступает не пассивным фоном, а активным регулятором углеродного цикла. Его детальное изучение в рамках уникального полигона «Каспий» позволит разработать научно обоснованные меры по повышению поглощающей способности прибрежных ландшафтов Каспия и достижению целей климатически нейтрального развития региона.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 25-17-20040 «Пространственно-временная изменчивость приморских природных и антропогенных ландшафтов Дагестана под влиянием современных климатических изменений и колебаний уровня моря Каспийского моря» (<http://rscf.ru/project/25-17-20040/>).

ACKNOWLEDGMENT

This work was supported by the Russian Science Foundation, grant no. 25-17-20040, «Spatiotemporal variability of coastal natural and anthropogenic landscapes of Dagestan under the influence of modern climate change and fluctuations in the level regime of the Caspian Sea» (<https://rscf.ru/project/25-17-20040/>).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Рычагов Г.И. Плейстоценовая история Каспийского моря. М.: Изд-во МГУ, 1997. 267 с.
2. Свиточ А.А., Янина Т.А. Четвертичные отложения побережий Каспийского моря. М.: ПАСХН, 1997. 268 с.
3. Леонтьев О.К., Маев Е.Г., Рычагов Г.И. Геоморфология берегов и дна Каспийского моря. М.: Изд-во МГУ, 1977. 208 с.
4. IPCC. Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate (Chapter 4: Sea Level Rise and Implications). Geneva, 2019. P. 321–445.
5. Карбоновые полигоны. Минобрнауки России – пилотный проект. Итоги первого года. М.: Инконсалт, 2021. 45 с.
6. ESA. Sentinel-2 User Handbook. 2015.
7. Якушев В.П., Дубенок Н.Н., Лупян Е.А. Опыт применения и перспективы развития технологий дистанционного зондирования Земли для сельского хозяйства // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2019. Т. 16. N 3. С. 11–23. DOI 10.21046/2070-7401-2019-16-3-11-23
8. Vostokov S.V., Sahling I.V., Vostokova A.S. et al. Seasonal Chlorophyll Variability in the Caspian Sea Based on Remote Sensing Data // Doklady Earth Sciences. 2023. V. 508. Suppl. 1. P. S47–S52. DOI: 10.1134/S1028334X22601924
9. Раджабова Р.Т., Ахмедова Л.Ш. Оценка природно-антропогенного воздействия на эко- и геосистемы зоны водохранилища Ирганайской ГЭС по данным дистанционного зондирования // Юг России: экология, развитие. 2024. Т.19. N 3. С. 193–203. DOI: 10.18470/1992-1098-2024-3-193-203
10. Панасенко Д.Н. Экологическая безопасность Каспийского моря в условиях нефтегазодобывающей деятельности // Нефтегазовые технологии и экологическая безопасность. 2004. N 2. С. 136–144.
11. Варущенко А.Н., Варущенко С.И., Клиге Р.К. Изменение режима Каспийского моря и бессточных водоемов в палеовремени. М.: Наука, 1987. 234 с.
12. Абумуслимов А.А., Банкурова Р.У., Алахвердиев Ф.Д. Особенности геоморфологии Терско-Кумской низменности // Вестник Академии наук Чеченской Республики. 2013. N 1(18). С. 72–76.
13. Kroonenberg S.B., Badyukova E.N., Storms J.E.A., et al. A full sea-level cycle in 65 years: barrier dynamics along Caspian shores // Sedimentary Geology. 2000. V. 134. Is. 3–4. P. 257–274. DOI: 10.1016/S0037-0738(00)00048-8
14. Обмеление Каспия вызвало появление новых островов и изменило береговые линии // ТАСС. 24 марта 2024. URL: <https://tass.ru/nauka/23481053> (дата обращения: 05.08.2025)
15. Koriche S.A., Singarayer J.S., Hannah L.C., et al. What are the drivers of Caspian Sea level variation during the late Quaternary? // Quaternary Science Reviews. 2022. V. 283. Article id: 107457. DOI: 10.1016/j.quascirev.2022.107457
16. Сорокин В.М., Янина Т.А., Лукша В.Л. О времени последней связи Каспийского и Черного морей в позднем плейстоцене // Вестник Московского университета. Серия 4: Геология. 2023. N 1. С. 75–84. DOI: 10.55959/MSU0579-9406-4-2023-63-1-75-84
17. Михайлова М.В. Закономерности скачкообразного развития дельт // Водные ресурсы. 2021. Т. 48. N 6. С. 676–684. DOI: 10.31857/S0321059621060122

18. Naderi Beni A., Lahijani H., Mousavi R.H., et al. Caspian sea-level changes during the last millennium: historical and geological evidence from the south Caspian Sea // *Climate of the Past*. 2013. V. 9. P. 1645–1665. DOI: 10.5194/cp-9-1645-2013
19. Vostokov S.V., Pautova L.A., Sahling I.V. et al. Seasonal and Long-Term Phytoplankton Dynamics in the Middle Caspian According to Satellite Data and In Situ Observations in the First Decades of the 21st Century // *Journal of Marine Science and Engineering*. 2023. V. 11. Iss. 5. Article id: 957. DOI: 10.3390/jmse11050957
20. Атаев З.В., Братков В.В., Гаджибеков М.И. Полупустынные ландшафты Северо-Западного Прикаспия: изменчивость климата и динамика: монография. Махачкала: ДГПУ, 2011. 123 с.
21. Каспийское море: энциклопедия / авторы и составители И.С. Зонн, А.Г. Костяной, А.Н. Косарев, С.С. Жильцов. 2-е изд. М.: Международные отношения, 2015. 542 с.
22. Kakroodi A.A., Leroy S.A.G., Kroonenberg S.B., et al. Late Pleistocene and Holocene sea-level change and coastal paleoenvironment evolution along the Iranian Caspian shore // *Marine Geology*. 2015. V. 361. P. 111–125. DOI: 10.1016/j.margeo.2015.01.007
23. Игнатов Е.И., Рычагов Г.И., Эльдаров Э.М. и др. Динамика каспийских берегов в концепции "Атласа культурного и природного наследия Дагестана" // *Геоморфология и палеогеография*. 2020. N 4. С. 58–73.
24. Эдельгериев Р.С.Х., Иванов А.Л., Донник И.М. и др. Глобальный климат и почвенный покров России: проявления засухи, меры предупреждения, борьбы, ликвидация последствий и адаптационные мероприятия (сельское и лесное хозяйство). М.: Издательство МБА, 2021. 700 с.
25. State of Environment of the Caspian Sea (SOE). Tehran: Caspian Environment Programme, 2019. 134 p.
26. Leroy S.A.G., Gracheva R., Medvedev A. Natural hazards and disasters around the Caspian Sea // *Natural Hazards*. 2022. V. 114. N 3. P. 2435–2478. DOI 10.1007/s11069-022-05522-5
27. Табелинова А.С. Колемание уровня Каспийского моря: причины, последствия и методы исследования // *Евразийский Союз Ученых*. 2019. N 7(61). С. 57–61.
28. Гаджиев Н.Г., Плешаков А.М. Особенности финансового обеспечения экологических проектов в зеленой экономике // *Юг России: экология, развитие*. 2024. Т. 19. N 1. С. 134–144. DOI: 10.18470/1992-1098-2024-1-134-144
29. Leroy S.A.G., Kakroodi A.A., Kroonenberg S.B., et al. Holocene vegetation history and sea level changes in the SE corner of the Caspian Sea: relevance to SW Asia climate // *Quaternary Science Reviews*. 2013. V. 70. P. 28–47. DOI: 10.1016/j.quascirev.2013.03.004
30. Каспийское море стремительно мелеет. URL: <https://www.vesti.ru/article/2628534> (дата обращения: 05.08.2025)
- REFERENCES**
- Rychagov G.I. *Pleistotsenovaya istoriya Kaspiiskogo morya* [Pleistocene History of the Caspian Sea]. Moscow, MSU Publ., 1997, 267 p. (In Russian)
 - Svitoch A.A., Yanina T.A. *Chetvertichnye otlozheniya poberezhii Kaspiiskogo morya* [Quaternary Sediments of the Caspian Sea Coasts]. Moscow, RASKhN Publ., 1997, 268 p. (In Russian)
 - Leont'ev O.K., Maev E.G., Rychagov G.I. *Geomorfologiya beregov i dna Kaspiiskogo morya* [Geomorphology of the Shores and Bottom of the Caspian Sea]. Moscow, MSU Publ., 1977, 208 p. (In Russian)
 - IPCC. Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate (Chapter 4: Sea Level Rise and Implications). Geneva, 2019, pp. 321–445.
 - Uglerodnye poligony. Minobrnuaki Rossii – pilotnyi proekt. Itogi pervogo goda* [Carbon Polygons. Russian Ministry of Education and Science – Pilot Project. Results of the First Year]. Moscow, Inkonsalt Publ., 2021, 45 p. (In Russian)
 - ESA. Sentinel-2 User Handbook. 2015.
 - Yakushev V.P., Dubenok N.N., Lupyay E.A. Experience in the application and development prospects of Earth remote sensing technologies for agriculture. *Current Problems in Remote Sensing of the Earth from Space*, 2019, vol. 16, no. 3, pp. 11–23. (In Russian) DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-3-11-23
 - Vostokov S.V., Sahling I.V., Vostokova A.S. et al. Seasonal Chlorophyll Variability in the Caspian Sea Based on Remote Sensing Data. *Doklady Earth Sciences*, 2023, vol. 508, suppl. 1, pp. S47–S52. DOI: 10.1134/S1028334X22601924
 - Radzhabova R.T., Akhmedova L.Sh. Assessment of natural and anthropogenic impact on eco- and geosystems of the Irganai HPP reservoir zone using remote sensing data. *South of Russia: ecology, development*, 2024, vol. 19, no. 3, pp. 193–203. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2024-3-193-203
 - Panasenko D.N. Environmental safety of the Caspian Sea under conditions of oil and gas production. *Neftegazovye tekhnologii i ekologicheskaya bezopasnost'* [Oil and Gas Technologies and Environmental Safety]. 2004, no. 2, pp. 136–144. (In Russian)
 - Varushchenko A.N., Varushchenko S.I., Klige R.K. *Izmenenie rezhima Kaspiiskogo morya i besstochnykh vodoemov v paleovremeni* [Changes in the Regime of the Caspian Sea and Endorheic Water Bodies in Paleotime]. Moscow, Nauka Publ., 1987, 234 p. (In Russian)
 - Abumuslimov A.A., Bankurova R.U., Alakhverdiev F.D. Features of the geomorphology of the Tersko-Kuma lowland. *Vestnik Akademii nauk Chechenskoi Respubliki* [Bulletin of the Academy of Sciences of the Chechen Republic]. 2013, no. 1(18), pp. 72–76. (In Russian)
 - Kroonenberg S.B., Badyukova E.N., Storms J.E.A., et al. A full sea-level cycle in 65 years: barrier dynamics along Caspian shores. *Sedimentary Geology*, 2000, vol. 134, iss. 3–4, pp. 257–274. DOI: 10.1016/S0037-0738(00)00048-8
 - Shallowing of the Caspian Sea caused the appearance of new islands and changed coastlines. *TASS*, March 24, 2024. (In Russian) Available at: <https://tass.ru/nauka/23481053> (accessed 05.08.2025)
 - Koriche S.A., Singarayyer J.S., Hannah L.C., et al. What are the drivers of Caspian Sea level variation during the late Quaternary? *Quaternary Science Reviews*, 2022, vol. 283, article id: 107457. DOI: 10.1016/j.quascirev.2022.107457
 - Sorokin V.M., Yanina T.A., Luksha V.L. On the timing of the last connection between the Caspian and Black Seas in the Late Pleistocene. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 4: Geologiya* [Moscow University Geology Bulletin]. 2023, no. 1, pp. 75–84. (In Russian) DOI: 10.55959/MSU0579-9406-4-2023-63-1-75-84
 - Mikhailova M.V. Patterns of abrupt delta development. *Water Resources*, 2021, vol. 48, no. 6, pp. 676–684. (In Russian) DOI: 10.31857/S0321059621060122
 - Naderi Beni A., Lahijani H., Mousavi R.H., et al. Caspian sea-level changes during the last millennium: historical and geological evidence from the south Caspian Sea. *Climate of the Past*, 2013, vol. 9, pp. 1645–1665. DOI: 10.5194/cp-9-1645-2013
 - Vostokov S.V., Pautova L.A., Sahling I.V. et al. Seasonal and Long-Term Phytoplankton Dynamics in the Middle Caspian According to Satellite Data and In Situ Observations in the First Decades of the 21st Century. *Journal of Marine Science and Engineering*, 2023, vol. 11, iss. 5, article id: 957. DOI: 10.3390/jmse11050957
 - Атаев З.В., Братков В.В., Гаджибеков М.И. *Полупустынные ландшафты Северо-Западного Прикаспия: изменчивость климата и динамика* [Semi-Desert Landscapes of the Northwestern Caspian Region: Climate Variability and Dynamics]. Makhachkala, DSPU Publ., 2011, 123 p. (In Russian)
 - Zonn I.S., Kostyanoi A.G., Kosarev A.N., Zhil'tsov S.S., eds. *Zhiltsov Kaspiiskoe more: entsiklopediya* [Caspian Sea: Encyclopedia]. Moscow, Mezhdunarodnye otnosheniya Publ., 2015, 2nd ed., 542 p. (In Russian)
 - Kakroodi A.A., Leroy S.A.G., Kroonenberg S.B., et al. Late Pleistocene and Holocene sea-level change and coastal paleoenvironment evolution along the Iranian Caspian shore. *Marine Geology*, 2015, vol. 361, pp. 111–125. DOI: 10.1016/j.margeo.2015.01.007
 - Ignatov E.I., Rychagov G.I., Eldarov E.M. et al. Dynamics of the Caspian shores in the concept of the "Atlas of Cultural and Natural Heritage of Dagestan". *Geomorfologiya i paleogeografiya* [Geomorphology and Paleogeography]. 2020, no. 4, pp. 58–73. (In Russian)
 - Edelgeriev R.S.Kh., Ivanov A.L., Donnik I.M. et al. *Global'nyi klimat i pochvennyi pokrov Rossii: proyavleniya zasukhi, mery preduprezhdeniya, bor'by, likvidatsiya posledstviy i adaptatsionnye meropriyatiya (sel'skoe i lesnoe khozyaistvo)* [Global Climate and Soil Cover of Russia: Manifestations of Drought, Measures of Prevention, Control, Elimination of Consequences and Adaptation Measures (Agriculture and Forestry)]. Moscow, MBA Publ., 2021, 700 p. (In Russian)

25. State of Environment of the Caspian Sea (SOE). Tehran, Caspian Environment Programme, 2019, 134 p.
26. Leroy S.A.G., Gracheva R., Medvedev A. Natural hazards and disasters around the Caspian Sea. *Natural Hazards*, 2022, vol. 114, no. 3, pp. 2435–2478. DOI: 10.1007/s11069-022-05522-5
27. Tabelinova A.S. Fluctuations of the Caspian Sea level: causes, consequences and research methods. *Evraziiskii Soyuz Uchenykh* [Eurasian Union of Scientists]. 2019, no. 7(61), pp. 57–61. (In Russian)
28. Gadzhiev N.G., Pleshakova A.M. Features of financial support for environmental projects in the green economy. *South of Russia: ecology, development*, 2024, vol. 19, no. 1, pp. 134–144. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2024-1-134-144
29. Leroy S.A.G., Kakroodi A.A., Kroonenberg S.B., et al. Holocene vegetation history and sea level changes in the SE corner of the Caspian Sea: relevance to SW Asia climate. *Quaternary Science Reviews*, 2013, vol. 70, pp. 28–47. DOI: 10.1016/j.quascirev.2013.03.004
30. The Caspian Sea is rapidly shallowing. (In Russian) Available at: <https://www.vesti.ru/article/2628534> (accessed 05.08.2025)

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Загир В. Атаев составил концепцию работы и провел анализ данных. Алимурад А. Гаджиев проводил полевые работы, участвовал в интерпретации результатов. Абдула М. Гюльмагомедов участвовал в полевых работах. Гаджибек С. Джамирзоев участвовал в полевых работах и давал экологическую оценку. Абдугамид А. Теймуров проводил палеогеографический анализ и дистанционное зондирование. Все авторы в равной степени участвовали в написании рукописи и несут ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата или других неэтических проблем.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Zagir V. Ataev undertook conceptualization and data analysis. Alimurad A. Gadzhiev undertook field investigation and interpretation of results. Abdula M. Gyulmagomedov undertook field investigation. Gadzhibek S. Dzhampirzoev undertook field investigation and ecological assessment. Abdulgamid A. Teymurov undertook paleogeographical analysis and remote sensing organisation. All authors are equally participated in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism, self-plagiarism and other ethical transgressions.

NO CONFLICT OF INTEREST DECLARATION

The authors declare no conflict of interest.

ORCID

Загир В. Атаев / Zagir V. Ataev <https://orcid.org/0000-0001-7731-5594>
Алимурад А. Гаджиев / Alimurad A. Gadzhiev <https://orcid.org/0000-0002-7359-1951>
Абдула М. Гюльмагомедов / Abdula M. Gyulmagomedov <https://orcid.org/0009-0009-5523-5214>
Гаджибек С. Джамирзоев / Gadzhibek S. Dzhampirzoev <https://orcid.org/0000-0003-1137-2726>
Абдугамид А. Теймуров / Abdulgamid A. Teymurov <https://orcid.org/0000-0003-0736-1522>