Код МРНТИ 89.57.45

Д. Ж. Рахимбаева, *Д. А. Шоганбекова, А. А. Алтаева
ТОО «Международная образовательная корпорация» (г. Алматы, Казахстан)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГИС И ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ДЛЯ МОНИТОРИНГА БЕРЕГОВОЙ ЛИНИИ СЕВЕРНОГО КАСПИЯ В ИНТЕРЕСАХ ОСВОЕНИЯ НЕФТЕГАЗОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Аннотация. В статье представлена методика геоинформационного мониторинга береговой линии Северного Каспия на основе данных дистанционного зондирования Земли, платформы Google Earth Engine и ГИС ArcGIS. Выполнен многолетний анализ спутниковых снимков Landsat за 1990–2025 гг., проведено сравнение спектральных индексов для выделения водной поверхности, установлено преимущество индекса MNDWI. Построены цифровые модели береговой линии, выполнена оценка пространственно-временной динамики и прогноз ее изменений до 2050 года. Полученные результаты могут использоваться при инженерно-геодезическом сопровождении нефтегазовых проектов, обновлении картографических материалов и управлении прибрежными территориями.
Ключевые слова: *Северный Каспий, береговая линия, дистанционное зондирование Земли, Google Earth Engine, геоинформационные системы, Landsat, геоинформационный мониторинг.*

Мұнай-газ кен орындарын игеру мүддесінде Солтүстік Каспийдің жағалау сызығын мониторингтеуде ГАЖ мен қашықтан зондтау технологияларын пайдалану

Аңдатпа. Мақалада Жерді қашықтан зондтау деректері, Google Earth Engine бұлттық платформасы және ArcGIS геоақпараттық жүйесі негізінде Солтүстік Каспийдің жағалау сызығын геоақпараттық мониторингтеу әдістемесі ұсынылған. 1990–2025 жылдар аралығындағы Landsat спутниктік суреттеріне көпжылдық талдау жүргізіліп, су бетін анықтауға арналған спектрлік индекстер салыстырылды және MNDWI индексінің артықшылығы анықталды. Жағалау сызығының цифрлық модельдері құрылып, оның кеңістіктік-уақыттық динамикасы бағаланып, 2050 жылға дейінгі өзгерістеріне болжам жасалды. Алынған нәтижелерді мұнай-газ жобаларын инженерлік-геодезиялық сүйемелдеуде, картографиялық материалдарды жаңартуда және жағалау аумақтарын басқаруда қолдануға болады.
Түйінді сөздер: *Солтүстік Каспий, жағалау сызығы, Жерді қашықтықтан зондтау, Google Earth Engine, геоақпараттық жүйелер, Landsat, геоақпараттық бақылау.*

Application of GIS and remote sensing for monitoring the north Caspian shoreline to support oil and gas field development

Abstract. The article presents a methodology for geoinformation monitoring of the Northern Caspian coastline based on Earth remote sensing data, the Google Earth Engine platform, and ArcGIS GIS technologies. A long-term analysis of Landsat satellite imagery for the period 1990–2025 was carried out, and a comparison of spectral indices for water surface extraction was performed, revealing the advantage of the MNDWI index. Digital shoreline models were developed, the spatiotemporal dynamics of shoreline changes were assessed, and its future changes were forecasted up to 2050. The obtained results can be used for engineering and geodetic support of oil and gas projects, updating cartographic materials, and managing coastal territories.
Keywords: *Northern Caspian, coastline, Earth remote sensing, Google Earth Engine, geographic information systems, Landsat, geoinformation monitoring.*

Введение

Освоение нефтегазовых месторождений Северного Каспия требует постоянного контроля состояния прибрежной зоны, поскольку изменения береговой линии оказывают непосредственное влияние на эксплуатацию инженерной инфраструктуры и безопасность производственных объектов [1–3]. Это обусловливает необходимость регулярного геодезического мониторинга.

Традиционные геодезические методы обеспечивают высокую точность измерений, однако их применение на обширных территориях связано со значительными затратами. Современные технологии дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), геоинформационные системы (ГИС) и облачная платформа Google Earth Engine (GEE) позволяют автоматизировать обработку многолетних спутниковых данных, анализировать динамику береговой линии и получать оперативную информацию о пространственных изменениях.

Для Северного Каспия мониторинг береговой зоны особенно актуален в связи с многолетними колебаниями уровня моря, влияющими на нефтегазовые месторождения, транспортную инфраструктуру и гидротехнические сооружения. Интеграция данных ДЗЗ и ГИС обеспечивает эффективный инструмент для оценки изменений береговой линии и поддержки инженерных решений.

Целью настоящего исследования является разработка методики геоинформационного мониторинга береговой линии Северного Каспия с использованием технологий дистанционного зондирования Земли, геоинформационных систем и облачной платформы Google Earth Engine для информационного обеспечения геодезического сопровождения освоения нефтегазовых месторождений. В работе выполнен многолетний анализ спутниковых данных Landsat, проведена оценка эффективности различных спектральных индексов выделения водных объектов, построены цифровые модели изменений береговой линии и выполнено прогнозирование дальнейшей трансформации прибрежной зоны.

Объект и методы исследования

Каспийское море, в особенности его казахстанский сектор, расположенный приблизительно на 47° с. ш. и 51° в. д., представляет собой регион, характеризующийся значительными экологическими, экономическими и геополитическими вызовами. Основной причиной этих вызовов являются колебания уровня моря, обусловленные воздействием как природных, так и антропогенных факторов [4]. Дополнительное влияние на развитие региона оказывает интенсивное освоение нефтегазовых месторождений, что повышает требования к мониторингу прибрежной зоны и оценке пространственных изменений.

Объектом исследования является северо-восточное побережье Каспийского моря, охватывающее юго-восточ-

ную часть Прикаспийской низменности. Данная территория обладает значительными запасами биологических и минеральных ресурсов и имеет важное экономическое значение для Республики Казахстан благодаря размещению объектов нефтегазовой промышленности, транспортной инфраструктуры и портовых комплексов. Регион представляет особый интерес для изучения взаимосвязи природных процессов и хозяйственной деятельности человека.

Гидрологический режим Каспийского моря характеризуется значительными многолетними колебаниями уровня воды. В период регрессии уровень моря снижался до -27…-28 м относительно уровня Мирового океана, что сопровождалось сокращением площади акватории и освоением прибрежных территорий. В 1978–1991 гг. уровень моря повысился примерно на 2,5 м, вызвав затопление отдельных населенных пунктов и объектов инфраструктуры [5, 6]. Наиболее значительные изменения наблюдались в периоды 1930–1977 гг. (понижение уровня) и 1978–1995 гг. (быстрый подъем), оказавшие существенное влияние на хозяйственную деятельность и прибрежные экосистемы (рис. 1) [7, 8].

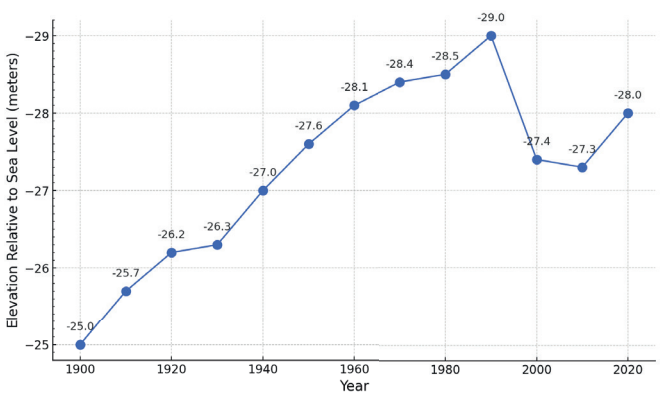


Рис. 1. Многолетние изменения среднегодового уровня Каспийского моря в XX — начале XXI века.
Сурет 1. XX ғасыр мен XXI ғасырдың басындағы Каспий теңізінің орташа жылдық деңгейінің көпжылдық өзгерістері.
Figure 1. Long-term changes in the annual mean water level of the Caspian Sea during the 20th and early 21st centuries.

Современные тенденции снижения уровня Каспийского моря создают риски для развития прибрежных территорий, инженерной инфраструктуры и освоения нефтегазовых месторождений. Для оценки пространственно-временной динамики береговой линии применяются методы геоинформационного мониторинга, основанные на использовании архивных и современных спутниковых данных.

Изменение уровня моря определяется совокупностью климатических, гидрологических и антропогенных факторов, включая колебания речного стока, строительство гидротехнических сооружений и разработку нефтегазовых месторождений. Комплексный анализ этих факторов необходим для разработки эффективных мер управления прибрежными территориями.

Обработка данных дистанционного зондирования выполнялась в программном комплексе ArcGIS Enterprise 10.6.1, обеспечивающем геоинформационный анализ, геометрическую коррекцию изображений, преобразование координат и работу с растровыми и векторными данными. Для анализа береговой линии использовались многоспектральные спутниковые изображения, позволяющие надежно выделять водные объекты по их спектральным характеристикам [9, 10].

Высокая точность пространственной привязки обеспечивалась современными алгоритмами преобразования координат, включая преобразование Хельмерта и библиотеку PROJ.4, что является необходимым условием достоверного анализа многолетних изменений береговой линии.

В качестве исходных данных использовались многоспектральные снимки Landsat 4 TM, Landsat 5 TM и Landsat 8 OLI/TIRS с пространственным разрешением 30 м за 1990–2025 гг. Для сопоставимости результатов преимущественно использовались августовские снимки с облачностью менее 5%. Пространственное разрешение 30 м позволяет оценивать средне- и крупномасштабную динамику береговой линии, но ограничивает выявление мелких береговых форм и локальных изменений (рис. 2).

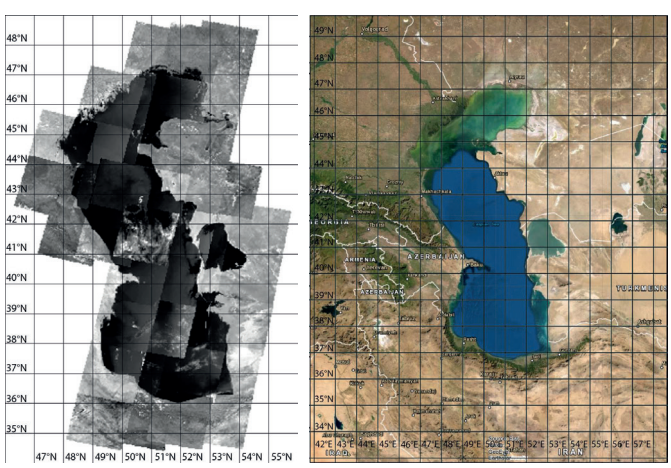


Рис. 2. Район исследования: *(а) мозаика спутниковых изображений Landsat исследуемой территории за 2008 год; (б) расположение Каспийского моря.*
Сурет 2. Зерттеу аймағы: *(а) 2008 жылғы зерттелетін аумақтың Landsat спутниктік суреттерінің мозаикасы; (б) Каспий теңізінің орналасуы.*
Figure 2. Study area: *(a) Landsat satellite image mosaic of the study area for 2008; (b) location of the Caspian Sea.*

Для выделения водных объектов использовался анализ спектральных сигнатур в сочетании с возможностями ArcGIS, что обеспечило высокую точность их идентификации и пространственного анализа. В исследовании применялись спутниковые изображения Landsat (USGS) уровня Level-1, прошедшие радиометрическую и геометрическую коррекцию и привязанные в системе координат WGS-84 (UTM).

Выявленная динамика береговой линии обусловлена совокупным воздействием климатических и геодина-

мических факторов. Климатические изменения влияют на водный баланс и уровень Каспийского моря, тогда как тектонические процессы связаны с вертикальными движениями земной поверхности [11, 12]. Данные ДЗЗ позволяют оценить динамику береговой линии, но не позволяют количественно разграничить вклад этих факторов.

Автоматизированная классификация выполнялась с применением алгоритма машинного обучения Random Forest, обученного на эталонных участках водной поверхности, суши, растительности и антропогенных объектов. После классификации выполнялась векторизация береговой линии и пространственный анализ ее многолетних изменений, включая оценку смещения береговой зоны и площадей осушения и затопления.

В качестве исходных данных использовались снимки Landsat 4 TM, Landsat 5 TM и Landsat 8 OLI/TIRS с пространственным разрешением 30 м за период 1990–2025 гг. Предварительная обработка включала маскирование облачности, радиометрическую и геометрическую коррекцию, а также приведение данных к единой системе координат.

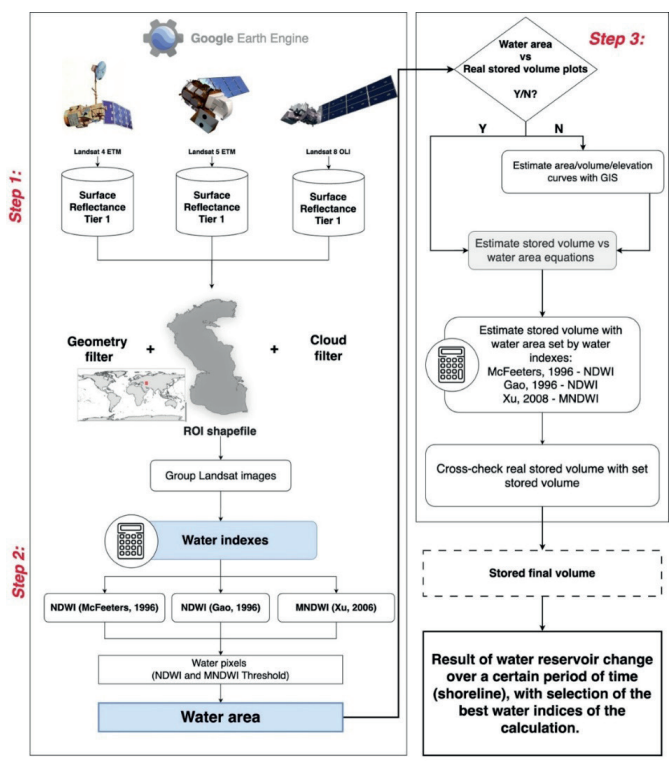


Рис. 3. Общая схема методики многовременного геоинформационного анализа изменений береговой линии.
Сурет 3. Жағалау сызығының өзгерістерін көпуақыттық геоақпараттық талдау әдістемесінің жалпы сызбасы.
Figure 3. General workflow of the multi-temporal geospatial analysis methodology for shoreline change detection.

Методика исследования включала три основных этапа (рис. 3):

- предварительную обработку многовременных спутниковых изображений и подготовку данных к анализу;

- расчет спектральных индексов и автоматизированную классификацию водной поверхности с использованием алгоритма Random Forest;

- построение цифровой береговой линии, выполнение пространственного анализа ее изменений и оценку динамики береговой зоны.

Для повышения точности выделения водной поверхности использовалась комбинированная система принятия решений, основанная на совместном анализе индексов MNDWI, NDWI, NDVI, EVI и LSWI (рис. 4).

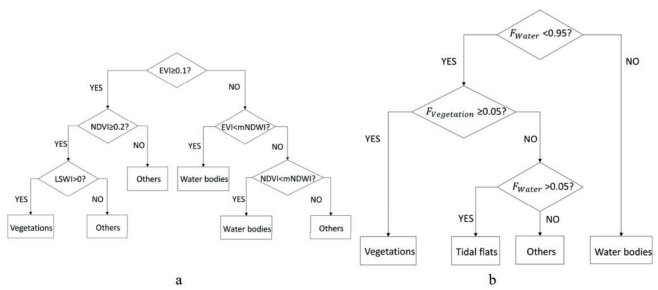


Рис. 4. Алгоритм принятия решений при классификации водной поверхности по спектральным индексам.
Сурет 4. Спектрлік индекстер бойынша су бетінің жіктелуін анықтау алгоритмі.
Figure 4. Decision-making algorithm for water surface classification based on spectral indices.

Такой подход позволил уменьшить ошибки классификации, возникающие при использовании одного спектрального индекса, особенно на участках с заболоченными территориями, прибрежной растительностью и мелководьем.

Полученные результаты классификации были интегрированы в геоинформационную систему, где выполнялись построение цифровых береговых линий, анализ их пространственного положения в различные годы наблюдений и оценка изменений площади акватории Северного Каспия.

Результаты

Для определения наиболее эффективного метода выделения береговой линии проведена сравнительная оценка спектральных индексов WRI, NDWI, MNDWI, NDVI и NDMI. Точность классификации определялась путем сопоставления бинарных масок водной поверхности, полученных по спутниковым изображениям Landsat, с эталонными масками, сформированными по данным Sentinel-2 высокого пространственного разрешения. Для количественной оценки использовался показатель общей точности (Accuracy), таблица 1.

$$Accuracy\ (\%) = 100 \times \left(1 - \frac{/N_w - N_{wm}/}{N_{wm}}\right). \qquad (1)$$

Результаты оценки точности представлены в таблице 1.

Таблица 1

Точность выделения водной поверхности с использованием различных спектральных индексов

Кесте 1

Әртүрлі спектрлік индекстерді пайдалану арқылы су бетінің бөліну дәлдігі

Table 1

Accuracy of water surface extraction using different spectral indices

Index	Range	Overall accuracy
WRI	> 1.0	86.5%
NDWI	> 0.0	86.2%
	> 0.18	87.2%
MNDWI	> 0.0	86.2%
	> 0.18	88.2%
NDVI	– 0.45… – 0.25	87.2%
	< 0.0	86.2%
NDMI	> 0.0	85.2%
	> 0.14	86.0%

Анализ полученных результатов показал, что наибольшую точность обеспечивает индекс MNDWI при пороговом значении более 0,18, для которого общая точность классификации составила 88,2%. Для остальных индексов точность изменялась в пределах 85,2–87,2%, что подтверждает преимущество использования MNDWI при автоматизированном выделении береговой линии Северного Каспия.

Для визуальной оценки качества классификации полученные маски водной поверхности были сопоставлены с эталонными изображениями высокого пространственного разрешения (рис. 5).

Визуальный анализ подтвердил результаты количественной оценки. Индекс MNDWI наиболее точно определяет границы водной поверхности, минимизируя ошибки классификации на участках с прибрежной растительностью и мелководьем. В связи с этим дальнейший анализ динамики береговой линии выполнялся с использованием именно данного индекса.

На основе многолетних спутниковых наблюдений Landsat выполнено построение цифровых береговых линий Северного Каспия за период 1990–2025 гг. Для каждого года формировались композитные изображения, что обеспечило сопоставимость результатов и снизило влияние сезонных факторов (рис. 6).

Полученные картографические материалы свидетельствуют о постепенном смещении береговой линии, наиболее выраженном в северо-восточной части исследуемой территории. Пространственный анализ позволил выявить участки регрессии моря, определить направления смещения береговой линии и оценить масштабы изменения прибрежной зоны. Полученные данные могут использоваться при обновлении цифровых карт, инженерно-геодезических изысканиях и мониторинге объектов нефтегазовой инфраструктуры.

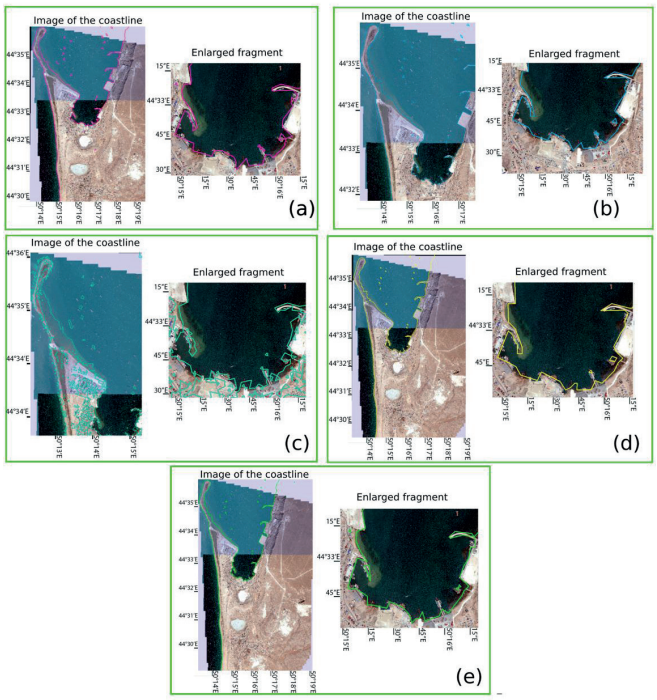


Рис. 5. Сравнение результатов выделения водной поверхности с использованием различных спектральных индексов: *а — NDVI; б — WRI; в — NDMI; г — MNDWI; д — NDWI.*

Сурет 5. Әртүрлі спектрлік индекстерді пайдалану арқылы су бетін бөлудің нәтижелерін салыстыру: *а — NDVI; б — WRI; в — NDMI; г — MNDWI; д — NDWI.*

Figure 5. Comparison of water surface extraction results using different spectral indices: *(a) — NDVI; (b) — WRI; (c) — NDMI; (d) — MNDWI; (e) — NDWI.*

На основании результатов классификации рассчитана динамика площади акватории Северного Каспия за исследуемый период (рис. 7).

Полученные результаты свидетельствуют об устойчивой тенденции сокращения площади акватории, сопровождающейся изменением конфигурации береговой линии. Наиболее интенсивные изменения наблюдаются в мелководной северной части моря, где процессы осушения приводят к образованию новых участков суши. Данные изменения необходимо учитывать при проектировании береговой инфраструктуры, актуализации топографических карт и выполнении инженерно-геодезических работ.

На основе многолетних спутниковых наблюдений и прогнозного моделирования выполнена оценка возможных изменений береговой линии Северного Каспия до 2050 года.

Результаты моделирования показывают, что при среднем сценарии изменения климата уровень Каспийского моря может снизиться на 6–10 м, что приведет к сокращению площади акватории примерно на 15%. При высоком сценарии прогнозируется снижение уровня моря на 10–14 м и сокращение площади водной поверхности до 24%. Полученные оценки характеризуются высокой достоверностью, что подтверждается значениями показателей RMSE и MAE.

Таблица 2

Проверка точности прогнозирования изменений уровня Каспийского моря при различных сценариях выбросов

Кесте 2

Әртүрлі шығарындылар сценарийлері жағдайындағы Каспий теңізі деңгейі өзгерістерін болжау дәлдігін тексеру

Table 2

Verification of Prediction Accuracy for Caspian Sea Level Changes Under Different Emission Scenarios

Сценарий выбросов	Прогнозируемое снижение уровня моря (м)	Сокращение площади поверхности (%)	RMSE (м)	MAE (м)
Средний	6–10	15	1.2	0.9
Высокий	10–14	24	1.5	1.1

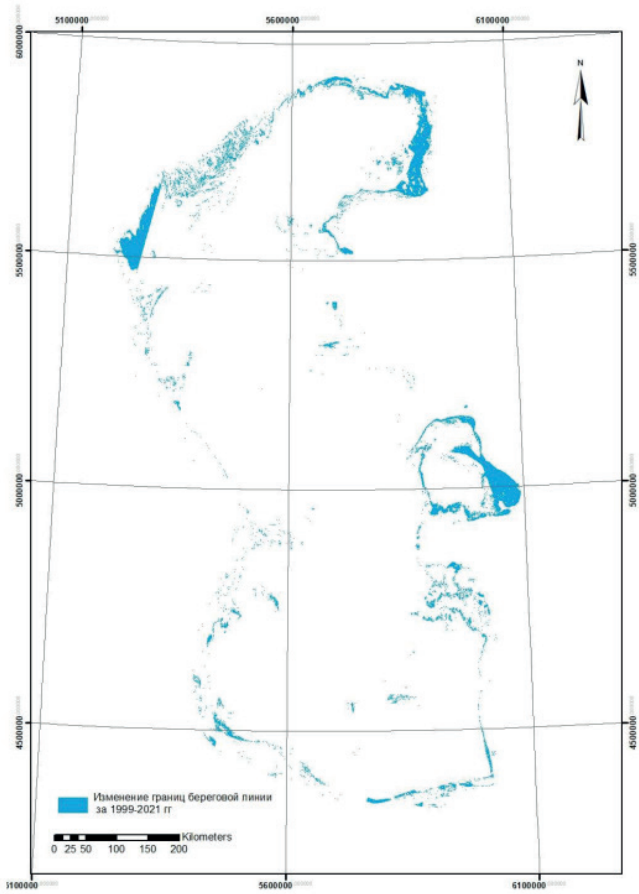


Рис. 6. Изменение положения береговой линии Северного Каспия за период 1990–2025 гг.
Сурет 6. 1990–2025 жылдар аралығындағы Солтүстік Каспий жағалау сызығының өзгеруі.
Figure 6. Changes in the shoreline position of the North Caspian Sea during the period 1990–2025.

Полученные прогнозные данные имеют практическое значение для геодезического сопровождения освоения нефтегазовых месторождений Северного Каспия. Они могут использоваться при выборе площадок строительства новых объектов, проектировании береговой инфраструктуры, обновлении геопространственных баз данных, оценке риска осушения прибрежных территорий и планировании инженерно-геодезических работ.

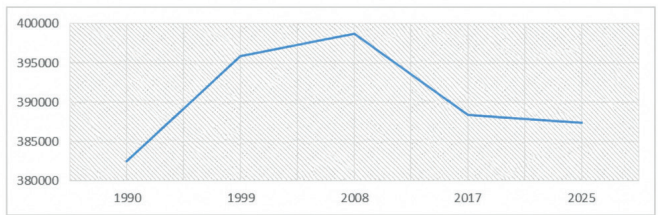


Рис. 7. Динамика изменения площади акватории Северного Каспия в 1990–2025 гг.
Сурет 7. 1990–2025 жылдар аралығындағы Солтүстік Каспий акваториясы ауданының өзгеру динамикасы.
Figure 7. Dynamics of changes in the water surface area of the North Caspian Sea during 1990–2025.

Заключение

В работе разработана и апробирована методика геоинформационного мониторинга береговой линии Северного Каспия, основанная на использовании технологий дистанционного зондирования Земли, Google Earth Engine и ArcGIS. Предложенный подход обеспечивает автоматизированную обработку многолетних спутниковых данных и анализ пространственно-временной динамики береговой линии.

Сравнительный анализ спектральных индексов показал, что MNDWI обеспечивает наибольшую точность выделения водной поверхности. Анализ спутниковых данных Landsat за 1990–2025 гг. выявил устойчивое смещение береговой линии и сокращение площади акватории, наиболее выраженные на мелководных участках Северного Каспия.

Прогнозное моделирование показало, что к 2050 году уровень Каспийского моря может снизиться на 6–14 м, что приведет к дальнейшей трансформации береговой зоны и окажет влияние на эксплуатацию прибрежной инфраструктуры.

Разработанная методика может быть использована при инженерно-геодезическом сопровождении нефтегазовых проектов, обновлении цифровых карт, ведении геоинформационных баз данных и оценке рисков изменения береговой линии. Перспективы дальнейших исследований связаны с интеграцией данных Sentinel-1, Sentinel-2 и NISAR, а также применением методов искусственного интеллекта для автоматизированного мониторинга береговой зоны.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. *Обзор воздействия глобального изменения климата, адаптации и устойчивых мер по смягчению последствий / K. Abbass [и др.] // Environmental Science and Pollution Research International. – 2022. – Т. 29. – С. 42539–42559 (на английском языке)*
2. *Влияние изменения климата и антропогенной деятельности на водные экосистемы – обзор / A. K. Priya [и др.] // Environmental Research. – 2023. – Т. 238. – Ст. 117233 (на английском языке)*
3. *Изменение климата и экосистемы: угрозы, возможности и решения / Y. Malhi [и др.] // Philosophical Transactions — Royal Society. Biological Sciences. – 2020. – Т. 375. – Ст. 20190104 (на английском языке)*
4. *Muluneh M. G. Влияние изменения климата на биоразнообразие и продовольственную безопасность: глобальный дополнительный анализ и обзорная статья // Agriculture & Food Security. – 2021. – Т. 10. – Ст. 41 (на английском языке)*
5. *Griggs G., Reguero B. G. Адаптация побережья к изменению климата и повышению уровня моря // Water. – 2021. – Т. 13. – № 16. – Ст. 2151 (на английском языке)*
6. *Предупреждение ученых об изменении климата и насекомых / J. A. Harvey [и др.] // Ecological Monographs. – 2023. – Т. 93. – № 1. – С. 1–37 (на английском языке)*
7. *Gibbs G. J., Dubayah R. Достижения в технологиях дистанционного зондирования и их значение для измерения и мониторинга запасов углерода в лесах и их изменений // Carbon Management. – 2011. – Т. 2. – № 2. – С. 231–244 (на английском языке)*
8. *Временные и пространственные изменения береговой линии с использованием изображений дистанционного зондирования для архипелага Чжоушань, Китай / S. Chen [и др.] // International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation. – 2022. – Т. 107. – Ст. 102711 (на английском языке)*
9. *Обзор практического применения искусственного интеллекта для дистанционного зондирования в науках о Земле / B. Janga [и др.] // Remote Sensing. – 2023. – Т. 15. – № 16. – Ст. 4112 (на английском языке)*
10. *Papa F., Frappart F. Запасы поверхностных вод в реках и водно-болотных угодьях по данным спутниковых наблюдений: обзор текущих достижений и будущих возможностей гидрологических наук // Remote Sensing. – 2021. – Т. 13. – № 20. – Ст. 4162 (на английском языке)*
11. *Kaplin P., Selivanov A. O. Современная прибрежная эволюция Каспийского моря как естественная модель прибрежных реакций на возможное ускорение глобального повышения уровня моря // Marine Geology. – 1995. – Т. 124. – С. 161–175 (на английском языке)*
12. *Nouri J., Karbassi A., Mir-Kia S. Экологическое управление прибрежными районами Каспийского моря // International Journal of Environmental Science and Technology. – 2007. – Т. 5. – С. 43–52 (на английском языке)*

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. *Жаһандық климаттың өзгеруінің әсері, бейімделуі және тұрақты азайту шаралары: шолу / K. Abbass [және т. б.] // International Journal of Environmental Science and Pollution Research. – 2022. – Т. 29. – Б. 42539–42559 (ағылшын тілінде)*
2. *Климаттың өзгеруі мен антропогендік қызметтің су экожүйесіне әсері: шолу / A. K. Priya [және т. б.] // Environmental Research. – 2023. – Т. 238. – 117233 (ағылшын тілінде)*
3. *Климаттың өзгеруі және экожүйелер: қауіптер, мүмкіндіктер және шешімдер / Y. Malhi [және т. б.] // Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences. – 2020. – Т. 375. – 20190104 (ағылшын тілінде)*
4. *Muluneh M. G. Климаттың өзгеруінің биоәртүрлілікке және азық-түлік қауіпсіздігіне әсері: жаһандық перспективалық шолу мақаласы // Agriculture & Food Security. – 2021. – Т. 10. – 41 (ағылшын тілінде)*
5. *Griggs G., Reguero B. G. Жағалаудың климаттың өзгеруіне және теңіз деңгейінің көтерілуіне бейімделуі // Water. – 2021. – Т. 13. – № 16. – 2151 (ағылшын тілінде)*
6. *Ғалымдардың климаттың өзгеруі және жәндіктер туралы ескертуі / J. A. Harvey [және т. б.] // Ecological Monographs. – 2023. – Т. 93. – № 1. – Б. 1–37 (ағылшын тілінде)*
7. *Gibbs G. J., Dubayah R. Қашықтықтан зондтау технологиясындағы жетістіктер және олардың орман көміртегі қорлары мен өзгерістерін өлшеу және бақылауға әсері // Carbon Management. – 2011. – Т. 2. – № 2. – Б. 231–244 (ағылшын тілінде)*
8. *Қытайдың Чжоушань архипелагы үшін қашықтықтан зондтау кескіндерін қолдана отырып, жағалау сызығының уақыттық және кеңістіктік өзгерістері / S. Chen [және т. б.] // International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation. – 2022. – Т. 107. – 102711 (ағылшын тілінде)*
9. *Жер туралы ғылымдарда қашықтықтан зондтау үшін практикалық AI шолуы / B. Janga [және т. б.] // Remote Sensing. – 2023. – Т. 15. – № 16. – 4112 (ағылшын тілінде)*

10. *Papa F., Frappart F. Жерсеріктік бақылаулардан алынған өзендер мен сулы-батпақты жерлердегі жер үсті суларының қоры: гидрологиялық ғылымдардың ағымдағы жетістіктері мен болашақ мүмкіндіктеріне шолу // Remote Sensing. – 2021. – Т. 13. – № 20. – 4162 (ағылшын тілінде)*
11. *Kaplin P., Selivanov A. O. Каспий теңізінің жағалаулық эволюциясы жаһандық теңіз деңгейінің көтерілуінің ықтимал үдеуіне жағалаулық реакциялардың табиғи моделі ретінде // Marine Geology. – 1995. – Т. 124. – Б. 161–175 (ағылшын тілінде)*
12. *Nouri J., Karbassi A., Mir-Kia S. Каспий теңізінің жағалау аймақтарын экологиялық басқару // International Journal of Environmental Science and Technology. – 2007. – Т. 5. – Б. 43–52 (ағылшын тілінде)*

REFERENCES

1. *A review of the global climate change impacts, adaptation, and sustainable mitigation measures / K. Abbass et al. // Environmental Science and Pollution Research. – 2022. – Vol. 29. – P. 42539–42559 (in English)*
2. *Impact of Climate Change and Anthropogenic Activities on Aquatic Ecosystem – A Review / A. K. Priya et al. // Environmental Research. – 2023. – Vol. 238. – Article 117233 (in English)*
3. *Climate Change and Ecosystems: Threats, Opportunities and Solutions / Y. Malhiet al. // Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences. – 2020. – Vol. 375. – Article 20190104 (in English)*
4. *Muluneh M. G. Impact of Climate Change on Biodiversity and Food Security: A Global Pe Additio-analrspective a Review Article // Agriculture & Food Security. – 2021. – Vol. 10. – Article 41 (in English)*
5. *Griggs G., Reguero B. G. Coastal Adaptation to Climate Change and Sea-Level Rise // Water. – 2021. – Vol. 13. – Article 2151 (in English)*
6. *Scientists' Warning on Climate Change and Insects / J. A. Harvey et al. // Ecological Monographs. – 2023. – Vol. 93. – No. 1. – P. 1–37 (in English)*
7. *Goetz S. J., Dubayah R. Advances in Remote Sensing Technology and Implications for Measuring and Monitoring Forest Carbon Stocks and Change // Carbon Management. – 2011. – Vol. 2. – P. 231–244 (in English)*
8. *Temporal and Spatial Variation of Coastline Using Remote Sensing Images for Zhoushan Archipelago, China / C. Chen et al. // International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation. – 2022. – Vol. 107. – Article 102711 (in English)*
9. *A Review of Practical AI for Remote Sensing in Earth Sciences / B. Janga et al. // Remote Sensing. – 2023. – Vol. 15. – No. 16. – Article 4112 (in English)*
10. *Papa F., Frappart F. Surface Water Storage in Rivers and Wetlands Derived from Satellite Observations: A Review of Current Advances and Future Opportunities for Hydrological Sciences // Remote Sensing. – 2021. – Vol. 13. – No. 20. – Article 4162 (in English)*
11. *Kaplin P., Selivanov A. O. Recent Coastal Evolution of the Caspian Sea as a Natural Model for Coastal Responses to the Possible Acceleration of Global Sea-Level Rise // Marine Geology. – 1995. – Vol. 124. – P. 161–175 (in English)*
12. *Nouri J., Karbassi A., Mirkia S. Environmental Management of Coastal Regions in the Caspian Sea // International Journal of Environmental Science and Technology. – 2007. – Vol. 5. – P. 43–52 (in English)*

Сведения об авторах:
Рахимбаева Д. Ж., Ph.D доктор, ассоц. профессор, ТОО «Международная образовательная корпорация» (г. Алматы, Казахстан), *dinara_8509@mail.ru;* https://orcid.org/0000-0001-8792-035X
Шоганбекова Д. А., Ph.D доктор, ассоц. профессор, ТОО «Международная образовательная корпорация» (г. Алматы, Казахстан), *inerbayeva@bk.ru;* https://orcid.org/0000-0002-6825-4774
Алтаева А. А., Ph.D доктор, ассоц. профессор, ТОО «Международная образовательная корпорация» (г. Алматы, Казахстан), *a.aselya_92@mail.ru;* https://orcid.org/0000-0002-1675-6828

Авторлар туралы мәліметтер:
Рахимбаева Д. Ж., Ph.D докторы, қауымдастырылған профессор, «Халықаралық білім беру корпорациясы» ЖШС (Алматы қ., Қазақстан)
Шоганбекова Д. А., Ph.D докторы, қауымдастырылған профессор, «Халықаралық білім беру корпорациясы» ЖШС (Алматы қ., Қазақстан)
Алтаева А.А., Ph.D докторы, қауымдастырылған профессор, «Халықаралық білім беру корпорациясы» ЖШС (Алматы қ., Қазақстан)

Information about the authors:
Rakhimbayeva D. Zh., Ph.D doctor, associate professor, International Educational Corporation LLP (Almaty, Kazakhstan)
Shoganbekova D. A., Ph.D doctor, associate professor, International Educational Corporation LLP (Almaty, Kazakhstan)
Altaeva A. A., Ph.D doctor, associate professor, International Educational Corporation LLP (Almaty, Kazakhstan)