

Код МРНТИ 36.29.27

Г. Мейрамбек<sup>1</sup>, \*Д.Ж. Рахимбаева<sup>2</sup>, К.Б. Рысбеков<sup>1</sup>, А. Ержанқызы<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>Satbayev University (г. Алматы, Казахстан),

<sup>2</sup>Международная Образовательная Корпорация. Казахская головная Архитектурно-Строительная Академия (КазГАСА) (г. Алматы, Казахстан)

## МОНИТОРИНГ ИЗМЕНЕНИЯ БЕРЕГОВОЙ ЛИНИИ КАСПИЙСКОГО МОРЯ МЕТОДОМ ВОДНОГО ИНДЕКСИРОВАНИЯ НА ОСНОВЕ ГЕОПРОСТРАНСТВЕННЫХ ДАННЫХ

**Аннотация.** В статье представлен анализ изменений береговой линии Каспийского моря, проведенный методом водного индексирования на основе геопространственных данных. Исследование основано на использовании снимков Landsat 4,5,8 TM: многозональный (архивированный набор изображений в формате GeoTIFF) и синтезированный снимок в натуральных цветах в формате JPEG с координатной привязкой, разрешение снимков 30 м. Период с 1990 по 2021 года – август месяц, с минимальным содержанием облачности (< 5%) или безоблачные. Метод водного индексирования позволил определить и количественно оценить динамику береговой линии, выявив зоны эрозии и аккумуляции. Использование ГИС-технологий для сбора и хранения полученной информации в единой базе данных позволяет выполнять своевременный пространственный анализ всей исследуемой территории.

**Ключевые слова:** уровень воды, море, цикл, прибрежная зона, населенные пункты, колебание уровня, экосистема, береговая линия, космический снимок, период.

**Геокеңістіктік деректер негізінде су индексіне әдісімен Каспий теңізінің жағалау сызығының өзгеруін мониторингтеу**

**Аңдатпа.** Мақалада геокеңістіктік деректер негізінде суды индексіне әдісімен жүргізілген Каспий теңізінің жағалау сызығының өзгерістерін талдау ұсынылған. Зерттеу Landsat 4,5,8 TM суреттерін қолдануға негізделген: көп аймақты (GeoTIFF форматындағы мұрағатталған кескіндер жиынтығы) және JPEG координаталық форматындағы синтезделген табиғи түсті сурет, 30 м суреттің ажыратымдылығы 1990-2021 жылдар аралығында тамыз айы, ең аз бұлтты (< 5%) немесе бұлтсыз. Суды индексіне әдісі эрозия мен жинақтау аймақтарын анықтау арқылы жағалау сызығының динамикасын анықтауға және сандық анықтауға мүмкіндік берді. Алынған ақпаратты бірыңғай дерекқорда жинау және сақтау үшін ГАЗ технологияларын пайдалану бүкіл зерттелетін аумақты уақтылы кеңістіктік талдауға мүмкіндік береді.

**Түйінді сөздер:** су деңгейі, теңіз, цикл, жағалау аймағы, елді мекендер, деңгейдің ауытқуы, экожүйе, жағалау сызығы, спутниктік сурет, кезең.

### Monitoring of changes in the coastline of the Caspian Sea by the method of water indexing based on geospatial data

**Abstract.** The article presents an analysis of changes in the coastline of the Caspian Sea, carried out by the method of water indexing based on geospatial data. The study is based on the use of Landsat 4,5,8 TM images: a multi-zone (archived set of images in GeoTIFF format) and a synthesized image in natural colors in JPEG format with a coordinate reference, the resolution of the images is 30 m. The period from 1990 to 2021 is the month of August, with a minimum cloud content (< 5%) or cloudless. The method of water indexing made it possible to determine and quantify the dynamics of the coastline, identifying zones of erosion and accretion. The use of GIS technologies to collect and store the information received in a single database allows for timely spatial analysis of the entire study area.

**Key words:** water level, sea, cycle, coastal zone, settlements, level fluctuation, ecosystem, coastline, space image, period.

### Введение

Исследование колебания уровня Каспийского моря является актуальной проблемой на сегодняшний день. Каспийское море испытывает значительные колебания уровня воды, что может приводить к затоплению прибрежных территорий или к образованию новых земель. В некоторых районах наблюдается ускоренная эрозия береговой линии, что приводит к потере земель и повреждению инфраструктуры. Антропогенная деятельность, включая сброс сточных вод и загрязнение нефтяными продуктами, также негативно сказывается на экологии Каспийского моря и оказывает существенное влияние на флуктуацию береговой линии. Помимо этого, состояние колебания воды может влиять на местные экосистемы, включая места обитания многих видов рыб и птиц, что также непосредственно затрагивает биоразнообразие региона. Следовательно, обнаружение водных объектов и последующий контроль являются важным процессом в научных и практических исследованиях. Фактически в настоящее время отсутствует мониторинг водных объектов, который показывает изменение числа водных объектов и их площади, береговой линии и их типа. Вышеперечисленные проблемы решаются путем использования данных дистанционного зондирования, что позволит определять множество характеристик окружающей среды, без соприкосновения с объектом исследования [1].

В рамках проекта для комплексного мониторинга изменения положения береговой линии Каспийского моря

применяются работы по: изучению геоинформационной составляющей объекта исследования; проведению периодических серий наблюдений за изменением береговой линии с использованием методики дешифрования многоспектральных изображений ГНСС спутников Landsat; определению водных объектов и построению водных масок для дальнейшего анализа изменения колебания воды. Объектом исследования является Казахстанская часть Каспийского моря [2].

Использование методов водного индексирования и геопространственных данных позволяет получать актуальные и точные сведения о состоянии береговой линии. Это способствует развитию технологий дистанционного зондирования и их применению в различных областях науки и практики.

### Методы исследования

Обработка данных осуществлялась в ArcGIS с применением инструмента NDWI (Normalized Difference Water Index) для вычисления водного индекса из многозональных спутниковых изображений. Полученные результаты были проанализированы с помощью инструментов пространственной статистики ArcGIS для оценки динамики береговой линии. Данный комплекс позволяет провести фотограмметрическую обработку данных дистанционного зондирования земли, а также выполнять дальнейший анализ с использованием аналитических функций ГИС. Полная

интеграция с ArcGIS позволяет провести быстрое преобразование пространственно-координированных растровых данных из одной картографической проекции в другую, выполнить трансформирование и координатную привязку изображения, конвертацию из растрового в векторный формат и наоборот [3].

Поиск водных объектов на основе многоспектральных изображений позволяет обнаруживать их по характеристикам отражательной способности природных объектов. Водные объекты характеризуются самым низким значением коэффициента среди других природных объектов. При этом все другие природные объекты, даже находясь в состоянии увлажнения, имеют больший коэффициент отражения. Этот факт используется при обнаружении водных объектов на измеренном изображении.

Для исследования использовались снимки Landsat 4,5,8 TM: многозональный (архивированный набор изображений в формате GeoTIFF) и синтезированный снимок в натуральных цветах в формате JPEG с координатной привязкой, разрешение снимков 30 м. Период с 1990 по 2021 года – август месяц, с минимальным содержанием облачности (< 5%) или безоблачные.

Снимки, использованные в рамках проекта, были адаптированы при помощи сервиса USGS Геологической службы США. Уровень обработки исходного многозонального космического снимка – L1. Подобный уровень обработки снимков Landsat позволяет обеспечивать их геометрическую и радиометрическую коррекцию с применением цифровых моделей рельефа (земная коррекция). Выходная картографическая проекция UTM, координатная система отсчета WGS-84.

Оценка точности осуществлялась посредством космических снимков Махаг, предоставленных компанией Digital Globe в соответствии с запросом для научно-исследовательских целей. Компания Digital Globe является мировым лидером в области производства спутниковых оптических изображений и геоинформаций. Разрешение снимков составляет 50 см.

Диапазон измеряемых электромагнитных волн варьирует от 10-10 м (коротковолновое космическое излучение) до 1010 метров (радиоволны). Возможность идентификации и классификации объектов основывается на том, что объекты разных типов – горные породы, почвы, водные поверхности, растительность и т.д., по-разному отражают и поглощают электромагнитное излучение в том или ином диапазоне длин волн [4]. Для исследования были использованы многоканальные снимки, сделанные американским спутником Landsat [5], который имеет 11 каналов съемки с разными диапазонами длин волн (табл. 1).

Особенность многоканальных снимков заключается в том, что зная особенности волновых характеристик каналов и их комбинаций, можно получить интересующую нас информацию о свойствах различных географических и экологических объектов. Однако, для разных моделей спутников Landsat комбинации каналов не одинаковы [5], что связано с усовершенствованием и доработкой каждого последующего запущенного аппарата. Поскольку все получаемые со спутника данные представляют собой не что иное, как мультиспектральные изображения, для получения заключенной в них информации требуется интерпретировать полученные данные и выявить их физический смысл. Этап анализа данных ДЗЗ, главной задачей которого является распознавание и идентификация объектов, обнаруженных на снимке, называется дешифровкой изображения.

При проведении обработки мультиспектрального снимка часто выполняют преобразования, которые строят «индексные» изображения. На основе математических данных с матрицами значений яркости в определенных каналах создают растровое изображение, значениям пикселей присваивается «спектральный индекс».

Процесс поиска водных объектов на основе набора измеренных многоспектральных изображений позволяет обнаруживать их по характеристикам отражательной способности природных объектов [6, 7]. Водные объекты

Таблица 1

**Многоспектральные индексы, используемые для определения водных объектов**

Кесте 1

**Су объектілерін анықтау үшін қолданылатын мультиспектрлік индекстер**

Table 1

**Multispectral indexes used to identify water bodies**

ИНДЕКС	ФОРМУЛА РАСЧЕТА	ДИАПАЗОН ЗНАЧЕНИЙ
Normalized Difference Water Index	$NDWI = \frac{GREEN - NIR}{GREEN + NIR}$	Вода имеет положительное значение
Normalized Difference Moisture Index	$NDMI = \frac{NIR - MIR}{NIR + MIR}$	Вода имеет положительное значение
Modified Normalized Difference Water Index	$MNDWI = \frac{GREEN - MIR}{GREEN + MIR}$	Вода имеет положительное значение
Water Ratio Index	$WRI = \frac{GREEN + RED}{NIR + MIR}$	Вода имеет значение больше 1
Normalized Difference Vegetation Index	$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$	Вода имеет отрицательное значение

характеризуются самыми низкими значениями коэффициентов отражения среди других природных объектов. При этом все другие природные объекты даже в состоянии увлажненности имеют больший коэффициент отражения. Этот факт используется при обнаружении водных объектов на измеренном изображении.

Для обнаружения водных объектов по космическим данным широко используются следующие индексы: NDWI, NDMI, MNDWI, WRI, NDVI (табл. 1).

Индекс NDWI получил широкое применение в области детектирования и мониторинга малейших изменений в содержании водных объектов. Используя преимущества спектральных диапазонов NIR (ближний инфракрасный) и GREEN (видимый зеленый), NDWI может усилить присутствие водных объектов на спутниковом снимке. Недостатком данного индекса является чувствительность к строительным конструкциям, которая может приводить к переоценке водных объектов [8].

Поскольку индекс NDWI (Нормализованный разностный водный индекс) эффективно определяет содержание влаги, его часто путают с индексом NDMI, также известным как NDWI GAO. На самом деле, это разные индексы с уникальными формулами расчета и сферой применения. NDMI использует комбинацию NIR-SWIR (ближний инфракрасный и коротковолновый) для усиления присутствия влаги в листьях растений. NDWI рассчитывается с использованием комбинации GREEN-NIR (видимый зеленый и ближний инфракрасный), что позволяет выявлять незначительные изменения содержания воды в водоемах [9].

Нормализованный разностный водный индекс (NDWI) был изменен путем замены среднего инфракрасного диапазона, такого как полоса 5 Landsat TM, на ближний инфракрасный диапазон, используемый в NDWI. Модифицированный NDWI (MNDWI) может улучшать характеристики открытой воды, эффективно подавляя и даже удаляя застроенный наземный шум, а также шум растительности и почвы. Усовершенствованная информация о воде с использованием NDWI часто смешивается с застроенным землей шумом, и поэтому площадь извлеченной воды переоценивается. Соответственно, MNDWI больше подходит для улучшения и извлечения информации о воде для водного региона с фоном, в котором преобладают застроенные участки земли, из-за его преимущества в снижении и даже удалении шума застроенной земли по сравнению с NDWI.

Из-за доминирующих спектральных характеристик зеленой и красной полос по сравнению с полосами NIR и MIR индекс водного фактора (WRI) показывает значения выше 1 для воды. Помимо индексов воды, для выделения характеристик воды можно использовать и некоторые другие индексы. Примером таких индексов является нормализованный разностный вегетационный индекс (NDVI) (43), который показывает уникальное отрицательное значение.

**Результаты исследования**

Значения для индексов NDWI, NDMI, MNDWI, WRI, NDVI лежат в диапазонах [-1; 1]. В табл. 1 указаны диапазоны значений, при которых пиксель с наибольшей веро-

ятностью связан с водным объектом. Для каждого индекса строились фильтры на основе учета диапазона значений, указанных выше индексов, позволяющих выделять водные объекты (бинаризация изображений: 0 – неводные объекты и 1 – водные объекты). Проводилось сравнение водных масок для каждого фильтра с эталонной маской водного объекта. Эталонная водная маска с разрешением 50 см была построена по космическим снимкам компании Maxar Technologies.

Оценка точности обнаружения водных объектов получена путем деления суммы верно классифицированных пикселей водного объекта, полученного с помощью водного индекса, к общему числу пикселей эталонной маски:

$$O = 100 \times (N_w - N_{wm}) / N_{wm}, \% \tag{1}$$

здесь  $N_w$  – число водных пикселей анализируемого изображения и  $N_{wm}$  – число водных пикселей эталонной маски.

**Таблица 2**

**Точность выделения водных объектов для водных индексов**

**Кесте 2**

**Су индекстері бойынша су объектілерін сәйкестендірудің дәлдігі**

**Table 2**

**Accuracy of allocation of water bodies for water indexes**

Название метода	Диапазон	Общая точность %
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%

Получены результаты оценки точности водных объектов для водных индексов WRI, NDWI, NDMI, MNDWI, NDVI (табл. 2). Из приведенных данных можно выделить тот факт, что точность обнаружения водных объектов является высокой и максимально близкой к эталонной маске. Далее в табл. 3 проведены дополнительные расчеты, учитывая различные варианты диапазонов значений принадлежности пикселей к водным объектам. Это позволило более точно найти пороги значений, при которых пиксель можно считать принадлежащим водным объектам.

Проверка адекватности методик дешифрирования показала, что наилучшим способом распознавания водных поверхностей для Каспийского моря является вычисление индекса MNDWI, имеющего минимальную величину

Таблица 3

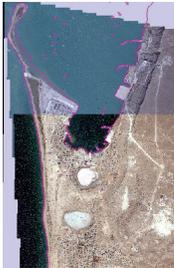
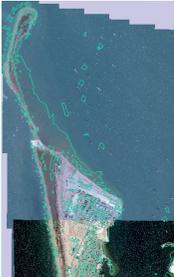
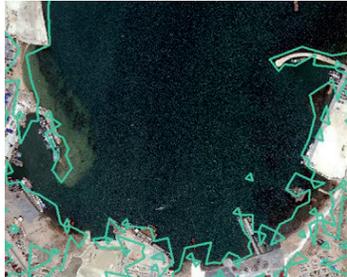
*Визуализация Маски водных объектов, рассчитанных по 30 м снимкам, в сравнении с эталонными снимками разрешения 50 см*

Кесте 3

*50 см рұқсаттағы анықтамалық кескіндермен салыстырғанда 30 м суреттерден есептелген су объектілерінің маскаларының визуализациясы*

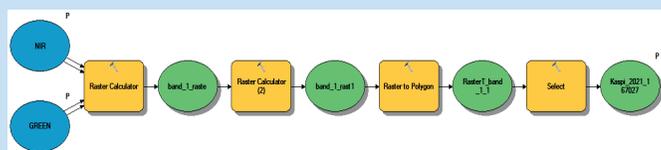
Table 3

*Visualization of the Mask of water bodies calculated from 30 m images, in comparison with reference images with a resolution of 50 cm*

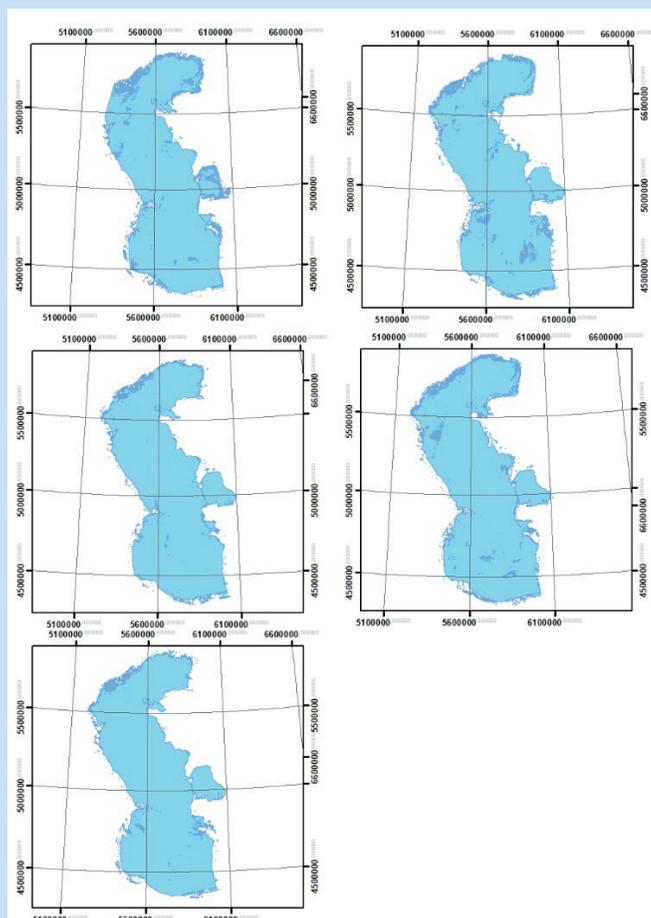
№	Индекс	Изображение береговой линии	Увеличенный фрагмент
1	NDVI		
2	WRI		
3	NDMI		
4	MNDWI		
5	NDWI		

среднеквадратической ошибки. В дальнейшем исследование динамики изменения береговой линии проводилось с использованием этого индекса. Для выявления временной изменчивости площадей водного зеркала проанализировано по 44 снимка на каждый выбранный год (в общей сложности 220 снимков). Данный индекс был использован для расчета береговой линии Каспийского моря за период с 1990-2021 гг.

Для расчета береговой линии Каспийского моря на каждый год исследования были составлены мозаики из 44 снимков. В целях ускорения процесса обработки большого количества снимков был использован процесс геодезирования в ПО ArcGIS, рис. 1.

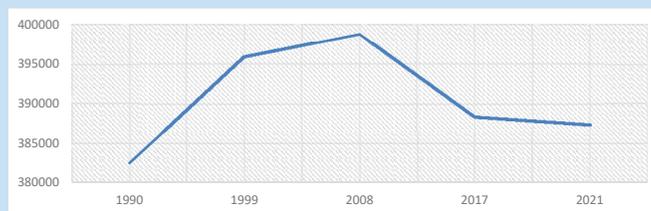


**Рис. 1. Геодезирование процесса вычисления.**  
**Сурет 1. Есептеу процесін геодезьдеу.**  
**Figure 1. Simulation of the calculation process.**



**Рис. 2. Площадь водной поверхности Каспийского моря с 1990 по 2021 год.**  
**Сурет 2. Каспий теңізінің су бетінің ауданы 1990 жылдан 2021 жылға дейін.**  
**Figure 2. The water surface area of the Caspian Sea from 1990 to 2021.**

В ходе исследования был проведен расчет индексов с космического летательного аппарата Landsat 8, разрешение снимков 30 метров, как показано на рис. 2.



*по вертикали – площадь Каспийского моря;  
 по горизонтали – годы*

**Рис. 3. Изменение объема Каспийского моря за период с 1990 по 2021 гг.**

**Сурет 3. 1990 жылдан 2021 жылға дейінгі кезеңдегі Каспий теңізі көлемінің өзгеруі.**  
**Figure 3. The change in the volume of the Caspian Sea for the period from 1990 to 2021.**

Временные ряды площади водного зеркала Каспийского моря позволяют выделить периоды повышения и убывания водности. В последние годы колебания уровня Каспийского моря обусловлены соотношением характеристик водного баланса, изменяющихся под влиянием антропогенного изменения климата (рис. 3).

Оценка выявила значительные колебания уровня воды в прибрежной зоне Каспийского моря в крупных населенных пунктах: Актау, Атырау и Форт-Шевченко за исследуемый период. Анализ показал, что изменения уровня моря характеризуются пространственными и временными колебаниями, на которые влияют такие факторы, как изменчивость климата, характер осадконакопления и антропогенное воздействие. Полученные результаты дают ценную информацию о долгосрочных тенденциях и динамике прибрежной зоны Каспийского моря, позволяя лучше понять экологические процессы и их последствия.

Слой интенсивности изменения уровня воды отображает изменения между двумя различными периодами времени (рис. 4, 5) в конкретных районах Каспийского моря. Согласно официальной символике слоя, увеличение уровня воды отображается различными оттенками зеленого, отсутствие изменений отображается черным цветом, а уменьшение – оттенками красного [5, 9].

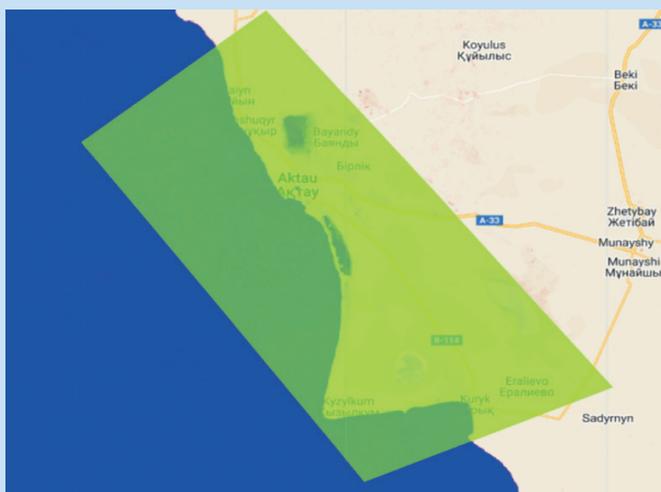
Первый оператор платформы GEE вычисляет гистограмму значений интенсивности изменений в пределах ROI, используя выборку в масштабе 30 м, а второй выводит полученный объект на вкладку консоли редактора кода (рис. 6). Эти инструкции создают объект диаграммы гистограммы, который заменяет дерево объектов гистограммы на вкладке Консоли диаграммой, суммирующей интенсивность изменений в исследуемой области.

Метод построения диаграммы содержит несколько параметров, в том числе Scale, который определяет пространственный масштаб в метрах, в котором производится выборка интересующего региона (Актау, Атырау или Форт-Шевченко), и Bucket Width, который используется для управления шириной сегментов гистограммы.



**Рис. 4. Визуализация интенсивности изменения водной поверхности Каспийского моря в регионе Актау.**

**Сурет 4. Актау аймағындағы Каспий теңізінің су бетіндегі өзгерістер қарқындылығын бейнелеу.**  
**Figure 4. Visualization of the intensity of changes in the water surface of the Caspian Sea in the Aktau region.**

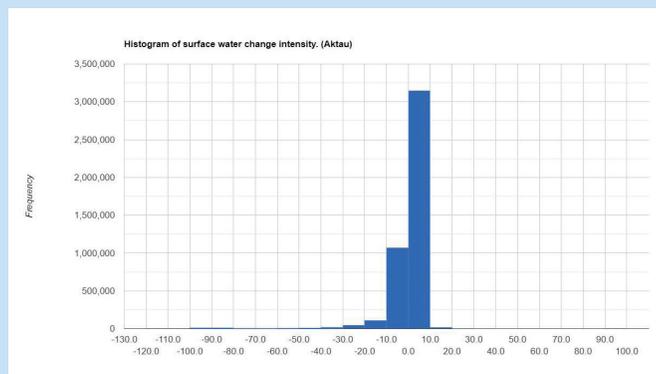


**Рис. 5. Визуализация формирования залегания воды с определением минимальных и максимальных значений конечной точки для Каспийского моря, регион Актау.**

**Сурет 5. Каспий теңізі, Актау облысы үшін ең төменгі және максималды соңғы нүкте мәндерін анықтау арқылы судың пайда болуының визуализациясы.**  
**Figure 5. Visualization of the formation of the water occurrence with the determination of the minimum and maximum values of the endpoint for the Caspian Sea, Aktau region.**

#### **Обсуждение исследования**

В данном исследовании проведен сравнительный анализ водных индексов. На основе водных индексов строятся фильтры, которые позволяют выделить водные объекты (реки, озера, искусственные водохранилища) на земной поверхности. Перед расчетом индексов проводит-



*интенсивность (частота) изменения поверхностных вод*

**Рис. 6. Приведены усредненные значения интенсивности изменения поверхностных вод Каспийского моря в регионе Актау.**

**Сурет 6. Актау облысындағы Каспий теңізінің беткі суларының өзгеру қарқындылығының орташа мәндері көрсетілген.**

**Figure 6. The average values of the intensity of changes in the surface waters of the Caspian Sea in the Aktau region are shown.**

ся радиометрическая и атмосферная коррекция, позволяющая учесть условия во время съемки и скорректировать интервал яркости получаемого изображения.

Результаты обработки данных показали, что наилучшим водным индексом является MNDWI среди WRI, NDMI, NDWI, NDVI, что показывает визуальный анализ водных масок и результаты оценки точности. Приведены водные маски для каждого индекса.

Мониторинг береговой линии, полученный фотограмметрическим способом, имеет соответствующее качество, так как данные покрывают всю необходимую территорию и корректно передают информацию о водном ресурсе, также цифровая фотограмметрическая технология является одним из наиболее эффективных способов.

Внедрение позволит значительно сократить, упростить многие виды традиционных геодезических и картографических измерений. Использование полученных данных повысит точность данных, сократит сроки получения необходимых материалов и понизит стоимость на продукцию.

Изменение береговой линии может затрагивать населенные пункты, находящиеся вблизи моря. Исследование этих изменений необходимо для разработки стратегий предотвращения социальных и экономических последствий, таких как утрата земель или угрозы для инфраструктуры.

#### **Заклучение**

Предложенный метод позволяет получить выходные материалы как в графическом, так и в цифровом виде. Использование ГИС-технологий для сбора и хранения полученной информации в единой базе данных позволяет выполнять своевременный пространственный анализ всей исследуемой территории. Обмен данными с использованием глобальных и локальных сетей обеспечивает эффективную организацию и управление работами на объектах, а также предоставляет возможность выполнять экологи-

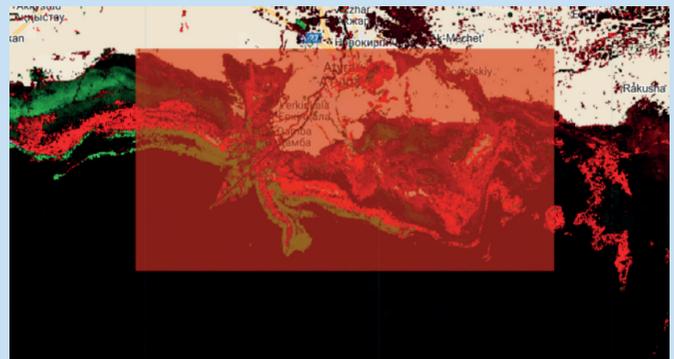
ческий прогноз и оценку прилегающей территории. Завершение оценки изменения уровня прибрежной зоны Каспийского моря знаменует собой важную веху в понимании этой уникальной и сложной экосистемы. Используя возможности Google Earth Engine, в ходе исследования была успешно проведена съемка и анализ пространственной и временной динамики прибрежной зоны, что позволило провести всестороннюю оценку изменения уровня моря (рис. 7.).

Результаты, представленные в этой статье, предоставляют ценную информацию лицам, принимающим решения, исследователям и заинтересованным сторонам для обоснования планирования, политики и устойчивого управления Каспийским морем и его прибрежными регионами.

Результаты исследования демонстрируют эффективность платформы GEE, которая использует облачные вычисления и доступ к большим геопространственным данным. Примечательно, что использование GEE устраняет необходимость в загрузке спутниковых изображений, поскольку доступ и обработка легко интегрируются с помощью программирования GEE.

**Благодарность**

Исследование выполнено при финансовой поддержке Комитета науки Министерства науки и высшего обра-



**Рис. 7. Визуализация интенсивности изменения водной поверхности Каспийского моря в Атырауской области.**

**Сурет 7. Атырау облысындағы Каспий теңізінің су бетіндегі өзгерістер қарқындылығын визуализациялау.**

**Figure 7. Visualization of the intensity of changes in the water surface of the Caspian Sea in the Atyrau region.**

зования РК (AP23489269 «Геотехническое мониторингирование геодинамического состояния геолого-структурной среды массива горных пород при освоении недр для обеспечение промышленной надежности»).

**СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. Mustafa T.M. Использование водных индексов (DVI, MNDWI, HDMI, WIRE) для определения физических и химических параметров с применением методов дистанционного зондирования и ГИС. / Mustafa T.M., Khalid I.H., Hussain M.H., Modher H.A. // Международный научный журнал. 2017. Т. 5. С. 117-128 (на английском языке)
2. Катаев М.Ю., Бекеров А.А. Методика обнаружения водных объектов по многоспектральным спутниковым измерениям. // Доклады ТУСУС. 2017. №4. С. 105-108 (на русском языке)
3. Камза А., Левин Е., Кузнецова И., Ержанкызы А., Орынбасарова Е. Исследование изменений ЦМР, сделанное на основе данных, периодически получаемых с морского дна. // Международная междисциплинарная научная Геоконференционная Геодезия, геология и управление горной экологией. 2018. Т. 18. С. 449-454 (на английском языке)
4. Acharya T.D., Lee D.H., Yang I.T., Lee J.K. Объединение водных индексов для определения уровня воды и фонового порога на изображении Landsat. // 4-я Международная электронная конференция по датчикам и приложениям, 2017. Т. 2. – С. 143 (на английском языке).
5. Умирбаев А. Оценка деформационной и радиационной обстановки территориальных областей на основе комплексного мониторинга. / А. Умирбаев, М.Б. Нурпеисова, Е. Федоров, Н.А. Милетенко. // Евразийская горнодобывающая промышленность. 2021. Т. 1. С. 83-87 (на английском языке)
6. Morto V. F. Использование глобальной ЦМР TanDEM-X для составления карты подверженности прибрежных районов наводнениям в условиях повышения уровня моря: применение к Гвинее-Бисау. / Morto V.F., Cristina P.L., Gil P.L. // ISPRS Int. J. Geo-Inf. 2022. Т. 11(4). С. 225 (на английском языке)
7. Elfatih M.A. Экологическая устойчивость с помощью дистанционного зондирования в Африке Онисимо Мутанга. / Elfatih M.A., Lalit K. // Журнал ISPRS по фотограмметрии и дистанционному зондированию. 2020. Т. 169. С. 212-213 (на английском языке)
8. Klein R.J.T., Nicholls R.J. Прибрежные зоны. // В Справочнике по методам оценки воздействия изменения климата и стратегиям адаптации. 1998. С. 464 (на английском языке).
9. Caiya Y. Современные тенденции движения основных тектонических разломов в регионе Сычуань-Юньнань, основанные на ограничениях полей скоростей GPS. / Caiya Y., Qiang Y., Karibayeva K. // Достижения в области космических исследований (ASR). 2021. Т. 5. С.1719-1731 (на английском языке)
10. Acharya T.D. Идентификация водных объектов на изображении Landsat 8 OLI с использованием дерева решений J48. / Acharya T.D., Lee D.H., Yang I.T., Lee J.K. // Датчики. 2016. Т. 16. С. 1075 (на английском языке)

## ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Mustafa T.M. Қашықтықтан зондтау және ГАЖ әдістерін қолдану арқылы физикалық және химиялық параметрлерді анықтау үшін су индекстерін (NDWI, MNDWI, HDMI, СЫМ) пайдалану. / Mustafa T.M., Khalid I.H., Hussain M.H., Modher H.A. // Халықаралық зерттеулер журналы. 2017. Т.5. Б. 117-128 (ағылшын тілінде)
2. Катаев М.Ю., Бекеров А.А. Көп спектрлі спутниктік өлшеулер бойынша су объектілерін анықтау әдістемесі. // ТУСУР баяндама. 2017. №4. Б. 105-108 (орыс тілінде)
3. Камза, А., Левин, Е., Кузнецова, И., Ержанқызы, А., Орынбасарова, Е. Теңіз түбінен мезгілдік мәліметтер жинақталатын дем өзгерістерін зерттеу. // Геология және тау-кен экологиясын басқаруды зерттейтін халықаралық көпсалалы ғылыми геоконференция. 2018. Т. 18. Б. 449-454 (ағылшын тілінде)
4. Acharya T.D., Lee D.H., Yang I.T., Lee J.K. Landsat кескініндегі су және фондық шегі үшін су индекстерін біріктіру. // Датчиктер мен қосымшалар бойынша 4-ші Халықаралық электронды конференция, 2017. Т. 2. Б. 143 (ағылшын тілінде)
5. Умирбаев А. Аумақтық домендердің деформациясы мен радиациялық жағдайын кешенді мониторингтік бағалау. / А. Умирбаев, Нұрпейісова М.Б., Е. Федоров, Н.А. Милетенко. // Еуразиялық тау-кен өндірісі. 2021. Т. 1. Б. 83-87 (ағылшын тілінде)
6. Morto B. F., Cristina P. L. , Gil P. L. Теңіз деңгейінің көтерілуіне байланысты жағалаудағы су тасқынының әсерін картаға түсіру үшін Tandem-X Global DEM көмегімен: Гвинея-Бисауға қолдану. / Morto B.F., Cristina P.L., Gil P.L. // ISPRS Int. Дж. Гео-Инф. 2022. Т. 11 (4). Б. 225 (ағылшын тілінде)
7. Elfatih M.A. Африка Онисимо Мустанганың қашықтан зондтау арқылы экологиялық тұрақтылығы. / Elfatih M.A., Lalit K. // ISPRS Фотограмметрия және қашықтықтан зондтау журналы. 2020. Т. 169. Б. 212-213 (ағылшын тілінде)
8. Klein R.J.T., Nicholls R.J. Жағалау аймағы. // Климаттың өзгеруіне әсерді бағалау және бейімделу стратегияларының әдістері туралы анықтамалық. 1998. Б. 464 (ағылшын тілінде)
9. Caiya Y. GPS жылдамдық өрістерінің шектелуіне негізделген Сычуань-Юньнань аймағындағы негізгі тектоникалық ақаулардың қазіргі қозғалыс тенденциялары. / Caiya Y., Qiang Y., Kartbayeva K. // Ғарыштық зерттеулердегі жетістіктер (ASR). 2021. Т. 5. Б. 1719-1731 (ағылшын тілінде)
10. Acharya T.D. J48 шешімдерін қолдана отырып, Landsat 8 OLI кескініндегі су ерекшеліктерін анықтау. / Acharya T.D., Lee D.H., Yang I.T., Lee J.K. // Датчиктер. 2016. Т. 16. Б. 1075 (ағылшын тілінде)

## REFERENCES

1. Mustafa T.M. Using water indices (NDWI, MNDWI, NDMI, WRI) to detect physical and chemical parameters by apply remote sensing and gis techniques. / Mustafa T.M., Khalid I.H., Hussain M.H., Modher H.A. // International Journal of Research. 2017. Vol. 5. P. 117-128 (in English)
2. Kataev M.Yu., Bekerov A.A. Metodika obnaruzheniya vodnykh ob"ektov po mnogospektral'nyim sputnikovym izmereniyam. // Doklady TUSUS. 2017. №4. S. 105-108 [Kataev M.Yu., Bekerov A.A. Methodology for detecting water bodies using multispectral satellite measurements. // TUSUS reports. 2017. №4. P. 105-108] (in Russian)
3. Kamza A., Levin E., Kuznetcova I., Yerzhankyzy A., Orynassarova E. Investigation of changes in dem, constructed from time to time data from the seabed. // International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management. 2018. Vol. 18. P. 449-454 (in English)
4. Acharya T.D., Lee D.H., Yang I.T., Lee J.K. Combining Water Indices for Water and Background Threshold in Landsat Image. // The 4th International Electronic Conference on Sensors and Applications. 2017. Vol. 2. – P. 143 (in English)
5. Umirbaeva A. Integrated monitoring-based assessment of deformation and radiation situation of territorial domains. / Umirbaeva A., Nurpeisova M.B., Fedorov E., Miletchenko N.A. // Eurasian mining. 2021. Vol. 1. P. 83-87 (in English)
6. Morto B.F. Using TanDEM-X Global DEM to Map Coastal Flooding Exposure under Sea-Level Rise: Application to Guinea-Bissau. / Morto B.F., Cristina P.L., Gil P.L. // ISPRS Int. J. Geo-Inf. 2022. Vol. 11 (4). P. 225 (in English)
7. Elfatih M.A. Environmental sustainability with remote sensing in Africa Onisimo Mutanga. / Elfatih M.A., Lalit K. // ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. 2020. Vol. 169. P. 212-213 (in English)

8. Klein R.J.T. Nicholls R.J. Coastal Zones. // In Handbook on Methods for Climate Change Impact Assessment and Adaptation Strategies. 1998. P. 464 (in English)
9. Caiya Y. Present-day movement trends of the major tectonic faults in the Sichuan-Yunnan region based on the constraint of GPS velocity fields. / Caiya Y., Qiang Y., Kartbayeva K. // Advances in Space Research (ASR). 2021. Vol. 5. P. 1719-1731 (in English)
10. Acharya T.D. Identification of Water Bodies in a Landsat 8 OLI Image using a J48 Decision Tree. / Acharya T.D., Lee D.H., Yang I.T., Lee J.K. // Sensors. 2016. Vol. 16. P. 1075 (in English)

**Сведения об авторах:**

**Мейрамбек Г.**, кандидат технических наук, заведующий кафедрой Маркшейдерского дела и геодезии горно-металлургического института им. О.А. Байконурова, Satbayev University (г. Алматы, Казахстан), [g.kyrgyzbayeva@satbayev.university](mailto:g.kyrgyzbayeva@satbayev.university); <https://orcid.org/0000-0002-4869-0587>

**Рахымбаева Д.Ж.**, магистр технических наук, факультет строительных технологий инфраструктуры и менеджмента (ФСТИМ), Международная Образовательная Корпорация, Казахская головная Архитектурно-Строительная Академия (КазГАСА) (г. Алматы, Казахстан), [d.rakhimbaeva@mok.kz](mailto:d.rakhimbaeva@mok.kz); <https://orcid.org/0000-0001-8792-035X>

**Рысбеков К.Б.**, кандидат технических наук, профессор, директор горно-металлургического института им. О.А. Байконурова, Satbayev University (г. Алматы, Казахстан), [K.Rysbekov@satbayev.university](mailto:K.Rysbekov@satbayev.university); <https://orcid.org/0000-0003-3959-550X>

**Ержанқызы А.**, PhD докторант, старший преподаватель кафедры «Маркшейдерское дело и геодезия», Satbayev University (г. Алматы, Казахстан), [a.yerzhankyzy@satbayev.university](mailto:a.yerzhankyzy@satbayev.university); <https://orcid.org/0000-0003-2559-3220>

**Авторлар туралы мәліметтер:**

**Мейрамбек Г.**, техника ғылымдарының кандидаты, қауым. профессор, Satbayev University (Алматы қ., Қазақстан)

**Рахымбаева Д.Ж.**, техника ғылымдарының магистрі, Инфрақұрылым және менеджмент құрылыс технологиялары факультеті халықаралық білім беру корпорациясы, Қазақ Бас сәулет-құрылыс академиясы (ҚазБСҚА) (Алматы қ., Қазақстан)

**Рысбеков К.Б.**, техника ғылымдарының кандидаты, профессор, О.А. Байқоңыров атындағы тау-кен-металлургия институтының директоры, Satbayev University (Алматы қ., Қазақстан)

**Ержанқызы А.**, PhD докторант, «Маркшейдерлік іс және геодезия» кафедрасының аға оқытушысы, Satbayev University (Алматы қ., Қазақстан)

**Information about the authors:**

**Meirambek G.**, Candidate of Technical Sciences, Head of the Department of Surveying and Geodesy, O.A. Baikonurov Mining and Metallurgical Institute, Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)

**Rakhimbaeva D.**, Master Of Technical Sciences. Faculty of Building Technologies, Infrastructure and Management (FSTIM) is an International Educational Corporation, Kazakh Head Architectural and Construction Academy (KazGASA) (Almaty, Kazakhstan)

**Rysbekov K.**, Candidate of Technical Sciences, Professor, Director of the Mining and Metallurgical Institute named after O.A. Baikonurov, Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)

**Yerzhankyzy A.**, PhD candiate, Senior Lecturer of Mine surveying and geodesy Department, Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)