

Код МРНТИ 36.23.25

Г. Рахимов, А.Ж. Жанибек, *М.Б. Игемберлина, Ж.М. Батыршаева

НАО «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан)

МОНИТОРИНГ ИЗМЕНЕНИЯ ПЛОЩАДИ ОЗЕРА БАЛХАШ С ПОМОЩЬЮ ГЕОПРОСТРАНСТВЕННОЙ ПЛАТФОРМЫ GOOGLE EARTH ENGINE

Аннотация. В данной статье представлены результаты исследования изменения площади озера Балхаш за период с 2001 по 2023 годы с использованием спутниковых данных MODIS и платформы Google Earth Engine. Целью исследования являлось изучение динамики площади озера. Для достижения поставленной цели была разработана методология, включающая обработку спутниковых данных MODIS, расчет индекса NDWI для выделения водной поверхности, классификацию изображений, расчет площади озера и создание временного ряда. В результате исследования были получены данные о динамике площади озера Балхаш за 20-летний период. Полученные результаты свидетельствуют о наличии колебаний площади озера Балхаш, однако существенных изменений не выявлено. Исследование демонстрирует эффективность использования спутниковых данных MODIS и платформы Google Earth Engine для мониторинга озер и выявления факторов, влияющих на их динамику.

Ключевые слова: мониторинг, временной ряд, MODIS, NDWI, дистанционное зондирование, динамика площади.

Балқаш көлінің ауданының өзгеруін Google Earth Engine геокеңістіктік платформасы арқылы бақылау

Аңдатпа. Бұл мақалада MODIS спутниктік деректері мен Google Earth Engine платформасы арқылы 2001–2023 жылдар аралығында Балқаш көлінің ауданының өзгеруін зерттеу нәтижелері көрсетілген. Зерттеудің мақсаты – Балқаш көлінің ауданының динамикасын зерттеу. Қойылған мақсатқа жету үшін MODIS спутниктік деректерін өңдеу, су бетін бөлу үшін NDWI индексін есептеу, кескіндерді классификациялау, көл ауданын есептеу және уақыттық қатарды құруды қамтитын әдістеме әзірленді. Зерттеу нәтижесінде Балқаш көлінің ауданының 20 жылдық динамикасы туралы деректер алынды. Алынған нәтижелер бойынша Балқаш көлі ауданының өзгерістері анықталды, бірақ айтарлықтай ауытқулардың байқалмады. Зерттеу көлдердің жағдайын бақылау және олардың динамикасына әсер ететін факторларды анықтау үшін MODIS спутниктік деректері мен Google Earth Engine платформасын пайдалану тиімді екендігін көрсетеді.

Түйінді сөздер: мониторинг, уақыттық қатар, MODIS, NDWI, қашықтан зондау, аудан динамикасы.

Monitoring lake Balkhash area changes using the Google Earth Engine geospatial platform

Abstract. This article presents the results of a study on changes in the area of Lake Balkhash from 2001 to 2023 using MODIS satellite data and the Google Earth Engine platform. The aim of the study was to examine the dynamics of the lake's area. To achieve this goal, a methodology was developed that included processing MODIS satellite data, calculating the NDWI index to identify the water surface, classifying images, calculating the lake area, and creating a time series. The study provided data on the dynamics of the Lake Balkhash area over a 20-year period. The results indicate fluctuations in the Lake Balkhash area during the study period, but no significant changes were observed. The study demonstrates the effectiveness of using MODIS satellite data and the Google Earth Engine platform to monitor the condition of lakes and identify the factors that affect their dynamics.

Key words: monitoring, time series, MODIS, NDWI, remote sensing, area dynamics.

Введение

Балхаш – бессточное, полупресное и полусоленое озеро, расположенное в полупустынной зоне на юго-востоке Республики Казахстан, в Балхаш-Алакольском бассейне. Этот исследуемый объект является вторым по величине многолетним соленым озером и занимает четырнадцатое место среди пятидесяти крупнейших озер мира. Расположено в Алматинской, Жамбылской и Карагандинской областях Республики Казахстан [1].

Изменение климата и возрастающая антропогенная нагрузка оказывают значительное влияние на водные экосистемы по всему миру, приводя к изменениям гидрологического режима, сокращению площади водных поверхностей и другим негативным последствиям. Озера, являясь важными компонентами гидросферы, особенно чувствительны к подобным воздействиям. В связи с этим, мониторинг площади озер приобретает особую актуальность.

В последние годы широкое распространение получили методы дистанционного зондирования Земли, которые позволяют получать оперативную и объективную информацию о состоянии водных объектов. Спутниковые данные MODIS, благодаря высокому временному разрешению и глобальному охвату, являются эффективным инструментом для мониторинга изменений площади озер на протяжении длительных периодов времени.

MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) – это спектрорадиометр среднего разрешения, установленный на борту спутников Terra и Aqua, запущенных НАСА. Он предоставляет данные о Земле в 36 спектральных диапазонах, что позволяет получать информацию о растительности, снежном покрове, температуре поверхности, облачности и других параметрах [2–7].

Однако обработка и анализ больших объемов спутниковых данных требуют значительных вычислительных ресурсов и специализированного программного обеспечения. В этом контексте платформа Google Earth Engine представляет собой мощный инструмент для решения задач мониторинга водных ресурсов. Google Earth Engine – это облачная платформа, которая предоставляет доступ к огромным коллекциям геопространственных данных, включая спутниковые снимки MODIS, а также мощные средства для их обработки и анализа.

Использование Google Earth Engine¹ позволяет автоматизировать процесс обработки данных, сократить время и ресурсы, необходимые для исследования, и получить результаты в кратчайшие сроки [8–9].

Методы исследования

Для мониторинга использовались спутниковые данные MODIS Surface Reflectance (Terra) с 8-дневным интервалом и пространственным разрешением 500 метров (рис. 1).

¹Платформа Google Earth Engine. URL: <https://earthengine.google.com/platform/> (дата обращения: 17.02.2025).

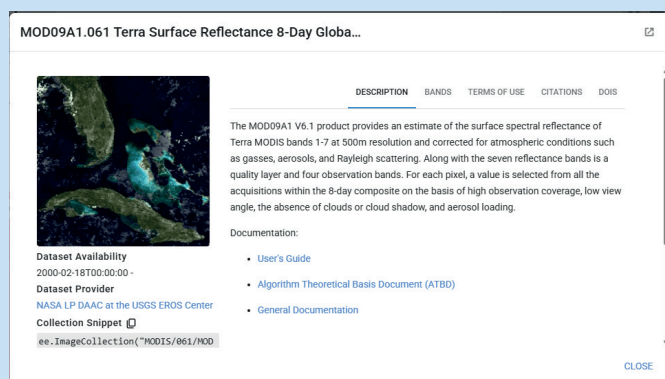


Рис. 1. Описание спутниковых данных MODIS Surface Reflectance.

Сурет 1. MODIS Surface Reflectance спутниктік деректерінің сипаттамасы.

Figure 1. Description of MODIS Surface Reflectance satellite data.

Исследования были проведены в период с 2001 по 2023 гг. Обработка спутниковых снимков состоит из нескольких этапов.

Определение области интереса: область исследования – озеро Балхаш (рис. 2) – была выделена с использованием инструмента «полигон» (geometry).

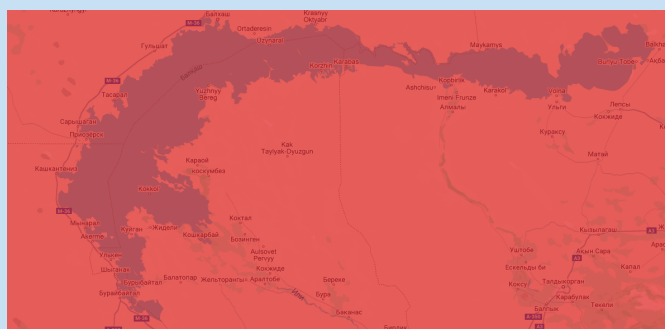


Рис. 2. Область исследования – озеро Балхаш.

Сурет 2. Зерттеу аймағы – Балқаш көлі.

Figure 2. Study area – Lake Balkhash.

Фильтрация данных: спутниковые снимки MODIS были отфильтрованы по дате (с 2001 по 2023 гг.) с использованием функций filterDate для получения данных за интересующий период. Затем, используя функцию print (...), можем узнать, сколько данных доступно, в данном случае 1057 снимков (рис. 3).

Выбор спектральных каналов и масштабирование. Для дальнейшего анализа были выбраны необходимые спектральные каналы (зеленый и ближний инфракрасный), соответствующие каналам 4 и 2 продукта MODIS Surface Reflectance. К выбранным каналам был применен коэффициент масштабирования 0.0001 для преобразования значений в истинные значения отражательной способности. Данные по каналам данных MODIS Surface Reflectance представлены на рис. 4.

Расчет индекса NDWI. Для выделения водной поверхности озера Балхаш был рассчитан нормализованный дифференциальный индекс воды (NDWI) с использованием следующей формулы:

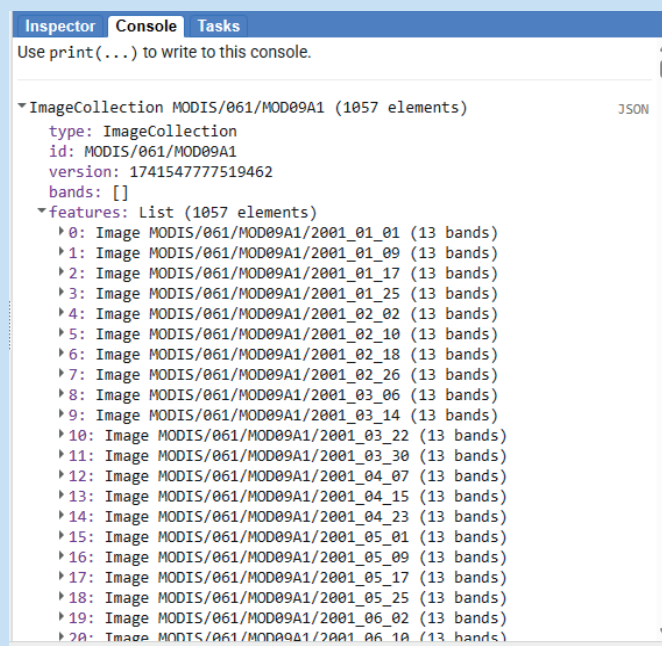


Рис. 3. Перечень спутниковых снимков области исследования.

Сурет 3. Зерттеу аймағының спутниктік суреттерінің тізімі.

Figure 3. List of satellite images of the research area.

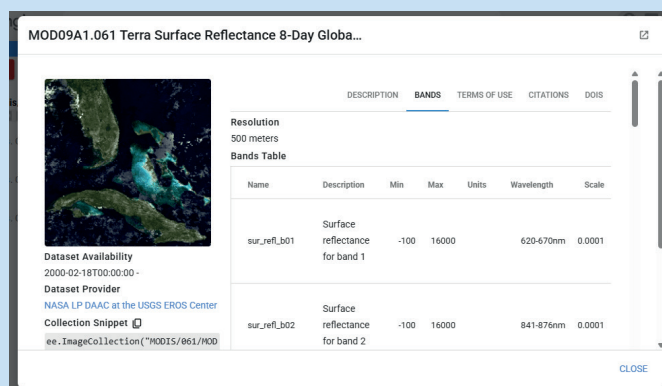


Рис. 4. Данные спутниковых данных MODIS Surface Reflectance.

Сурет 4. MODIS Surface Reflectance спутниктік деректері.

Figure 4. MODIS Surface Reflectance satellite data.

$$NDWI = \frac{(Green - NIR)}{(Green + NIR)},$$

где **Green** – отражательная способность в зеленом канале;
NIR – отражательная способность в ближнем инфракрасном канале.

Расчет NDWI выполнялся для каждого изображения MODIS.

Классификация и маскирование. Для создания бинарной маски водной поверхности было применено пороговое значение NDWI, равное 0.1. Пиксели со значением NDWI больше 0.1 классифицировались как вода (значение 1), остальные – как не вода (значение 0). Значения, равные 0, были замаскированы (updateMask). Данный метод

позволяет визуально оценить распределение значений NDWI и выбрать оптимальное пороговое значение для выделения водной поверхности.

Получение снимков. Используя две функции программного обеспечения, а именно Map.addLayer и filterDate, были получены спутниковые снимки озера Балхаш. На рис. 5–8 предоставлены спутниковые снимки за 2010, 2015, 2018 и 2022 годы.

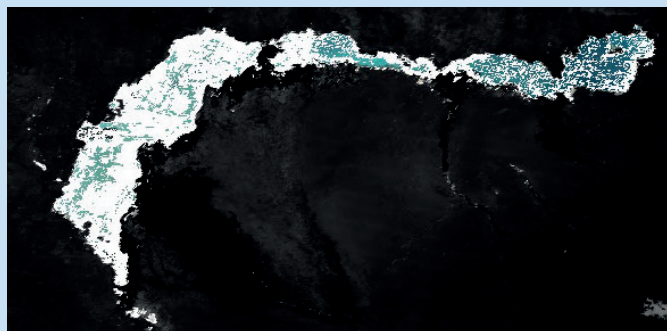


Рис. 5. Спутниковый снимок, полученный за июнь 2010 г.

Сурет 5. 2010 жылдың маусым айында алынған спутниктік сурет.

Figure 5. Satellite image taken in June 2010.

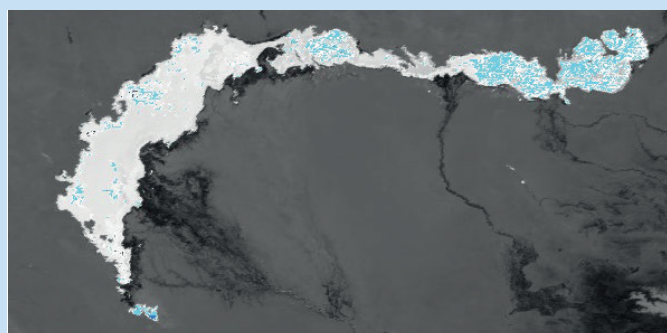


Рис. 6. Спутниковый снимок, полученный за июнь 2015 г.

Сурет 6. 2015 жылдың маусым айында алынған спутниктік сурет.

Figure 6. Satellite image taken in June 2015.

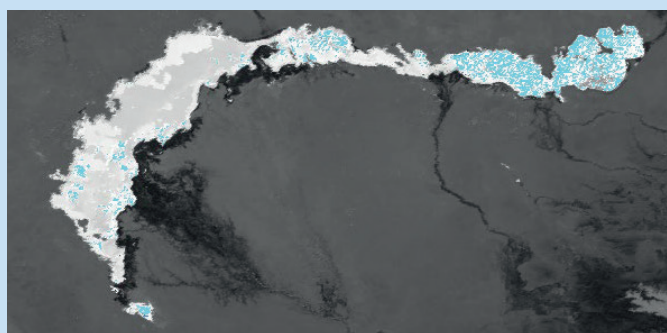


Рис. 7. Спутниковый снимок, полученный за июнь 2018 г.

Сурет 7. 2018 жылдың маусым айында алынған спутниктік сурет.

Figure 7. Satellite image taken in June 2018.

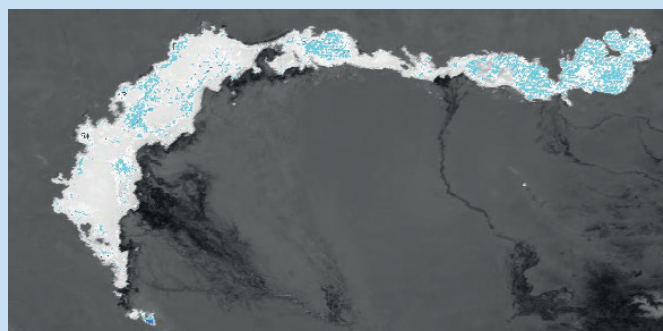


Рис. 8. Спутниковый снимок, полученный за июнь 2022 г.

Сурет 8. 2022 жылдың маусым айында алынған спутниктік сурет.

Figure 8. Satellite image taken in June 2022.

Расчет площади. Площадь каждого пикселя, классифицированного как вода, была рассчитана с использованием функции pixelArea (). Полученные значения были преобразованы из квадратных метров в квадратные километры путем деления на 1 миллион.

Результаты

Создание временного ряда. Для каждого изображения MODIS, обработанного описанным выше способом, была рассчитана сумма площадей всех пикселей, классифицированных как вода. Полученные значения площадей и соответствующие им даты были использованы для построения временного ряда изменения площади озера Балхаш (рис. 9). Для этого использовалась функция ui.Chart.image.series, где в качестве входных параметров указывались коллекция изображений с площадями, область интереса, метод сведения (reducer.sum), масштаб (500 м) и свойство времени (system:time_start).

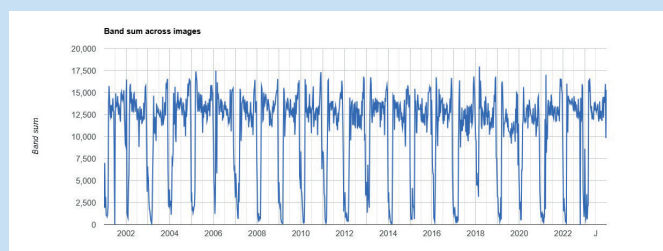


Рис. 9. Временной ряд изменения площади озера Балхаш.

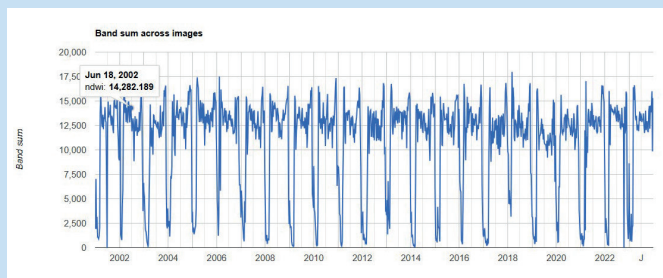
Сурет 9. Балқаш көлі ауданының өзгеруінің уақыттық қатары.

Figure 9. Time series of Lake Balkhash area change.

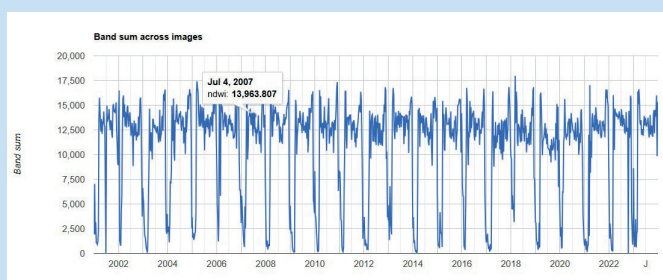
Обсуждение результатов

Циклический характер данных обусловлен сезонными изменениями гидрологического режима озера Балхаш, связанными с температурными колебаниями. В зимний период, когда озеро покрывается льдом, значения снижаются, в то время как в летний период, когда лед тает, значения возрастают. На рис. 10–14 показаны

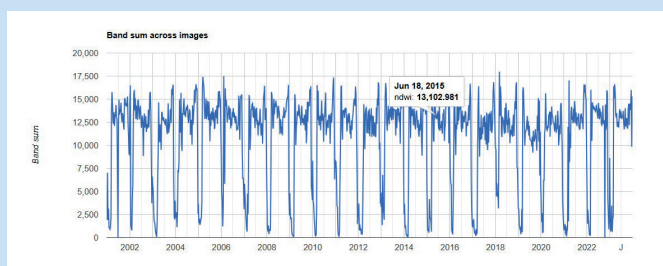
точные значения NDWI за определенный промежуток времени.



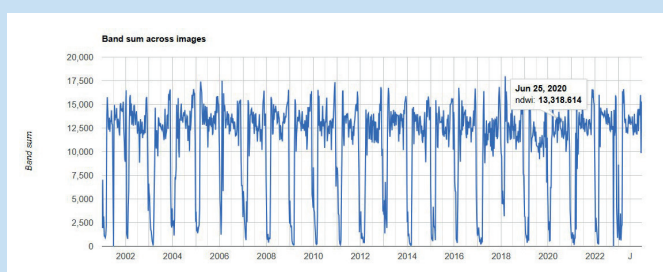
**Рис. 10. Значение NDWI за 18 июня 2002 года.
Сурет 10. 2002 жылғы 18 маусымдағы NDWI мәні.
Figure 10. NDWI value for June 18, 2002.**



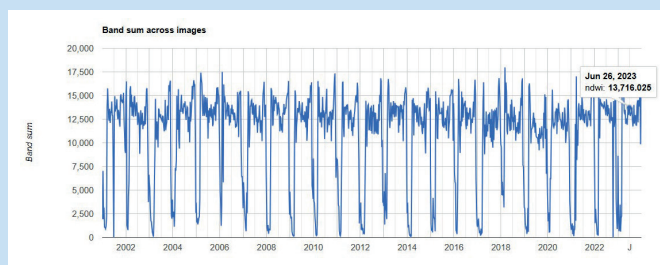
**Рис. 11. Значение NDWI за 4 июля 2007 года.
Сурет 11. 2007 жылғы 18 шілдедегі NDWI мәні.
Figure 11. NDWI value for July 18, 2007.**



**Рис. 12. Значение NDWI за 18 июня 2015 года.
Сурет 12. 2015 жылғы 18 маусымдағы NDWI мәні.
Figure 12. NDWI value for June 18, 2015.**

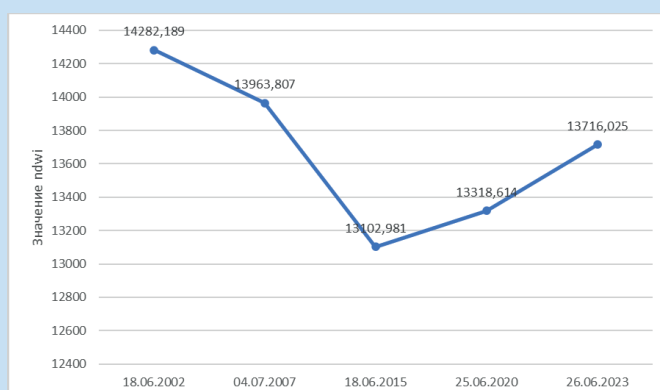


**Рис. 13. Значение NDWI за 25 июня 2020 года.
Сурет 13. 2020 жылғы 25 маусымдағы NDWI мәні.
Figure 13. NDWI value for June 25, 2020.**



**Рис. 14. Значение NDWI за 26 июня 2023 года.
Сурет 14. 2023 жылғы 26 маусымдағы NDWI мәні.
Figure 14. NDWI value for June 26, 2023.**

По результатам анализа периода открытой воды не выявлено существенных колебаний площади озера (рис. 15).



**Рис. 15. Динамика площади озера Балхаш.
Сурет 15. Балқаш көлі ауданының динамикасы.
Figure 15. Lake Balkhash area dynamics.**

Закключение

Проведенное исследование, основанное на анализе спутниковых данных MODIS с использованием платформы Google Earth Engine, позволило получить детальную информацию о динамике площади озера Балхаш за период с 2001 по 2023 годы. Результаты исследования демонстрируют, что, несмотря на некоторые колебания, площадь озера Балхаш в целом оставалась относительно стабильной на протяжении исследуемого периода.

Данное исследование подчеркивает эффективность использования спутниковых данных MODIS и платформы Google Earth Engine для мониторинга состояния водных объектов. Полученные результаты могут быть использованы для принятия решений в области управления водными ресурсами и охраны окружающей среды в регионе озера Балхаш.

Благодарность

Авторы выражают благодарность сотрудникам ТОО «Lukos Group» и профессорско-преподавательскому составу кафедры МДиГ НАО «Карагандинский технический университет имени Абылқаса Сағинова» за помощь и советы по написанию данной статьи.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Муратханов Д.Б., Рахимов Т.А., Рахметов И.К. Применение методов математического моделирования для прогноза антропогенного влияния подземных вод на гидроэкологическое состояние оз. Балхаш (Казахстан) // Сергеевские чтения. Фундаментальные и прикладные вопросы инженерной геодинамики. 2023. № 24. С. 233–238 (на русском языке)
2. Katlane R. Мониторинг температуры поверхности моря, хлорофилла и мутности в тунисских водах с 2005 по 2020 год с использованием изображений MODIS и Google Earth Engine // Региональные исследования в области морских наук. 2023. Т. 66. С. 103–113 (на английском языке)
3. Karimzadeh S. Мониторинг прибрежных вод с помощью Google Earth Engine: тематическое исследование южного побережья Каспийского моря // Международный архив фотограмметрии, дистанционного зондирования и пространственных информационных наук. 2023. Т. 48. С. 59–64 (на английском языке)
4. Velastegui-Montoya A. Google Earth Engine: глобальный анализ и перспективы развития // Дистанционное зондирование. 2023. Т. 15. № 14. С. 36–45 (на английском языке)
5. Данилова И. В., Федотова Е. В., Буренина Т. А. Использование Google Earth Engine для расчета составляющих водного баланса в бассейне реки подкаменная тунгуска // Информационные технологии и высокопроизводительные вычисления. 2023. № 10. С. 80–84 (на русском языке)
6. Дробинина Е.В. Опыт использования платформы Google Earth Engine для оценки площадей термокарстовых озер // Аэрокосмические методы в геологии. 2021. № 3. С. 289–294 (на русском языке)
7. Федотова Е.В., Гостева А.А. Использование Google Earth Engine в системах мониторинга // Региональные проблемы дистанционного зондирования Земли. 2021. № 6. С. 132–135 (на русском языке)
8. Ding Y. Мониторинг динамики береговой линии Малайских островов с использованием Google Earth Engine и данных дистанционного зондирования с высокой периодичностью // Дистанционное зондирование. 2021. Т. 13. № 19. С. 3842 (на английском языке)
9. Васильев В.Н. Обзор существующих ГИС // Молодой ученый. 2016. № 14. С. 62–66 (на русском языке)

ПАЙДАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Мұратханов Д.Б., Рахимов Т.А., Рахметов И.К. Жер асты суларының Балқаш көлінің гидроэкологиялық жағдайына антропогендік әсерін болжау үшін математикалық модельдеу әдістерін қолдану (Қазақстан) // Сергеев оқулары. Инженерлік геодинамиканың іргелі және қолданбалы мәселелері. 2023. № 24. Б. 233–238 (орыс тілінде)
2. Katlane R. MODIS суреттері және Google Earth Engine көмегімен Тунис суларындағы теңіз бетінің температурасын, хлорофиллді және лайлылықты 2005–2020 жылдар аралығында бақылау // Теңіз ғылымдарының өңірлік зерттеулері. 2023. Т. 66. Б. 103–113 (ағылшын тілінде)
3. Karimzadeh S. Google Earth Engine көмегімен жағалау суларын бақылау: Каспий теңізінің оңтүстік жағалауының тематикалық зерттеуі // Фотограмметрияның, қашықтан зондтаудың және кеңістіктік ақпараттық ғылымдардың халықаралық мұрағаты. 2023. Т. 48. Б. 59–64 (ағылшын тілінде)
4. Velastegui-Montoya A. Google Earth Engine: жаһандық талдау және болашақ тенденциялар // Қашықтан зондтау. 2023. Т. 15. № 14. Б. 36–45 (ағылшын тілінде)
5. Данилова И.В., Федотова Е.В., Буренина Т.А. Подкаменная Тунгуска өзені бассейніндегі су балансы құрамдас бөліктерін есептеу үшін Google Earth Engine қолдану // Ақпараттық технологиялар және жоғары өнімді есептеу. 2023. № 10. Б. 80–84 (орыс тілінде)
6. Дробинина Е.В. Термокарсттық көлдердің аудандарын бағалау үшін Google Earth Engine платформасын қолдану тәжірибесі // Геологиядағы аэроғарыштық әдістер. 2021. № 3. Б. 289–294 (орыс тілінде)
7. Федотова Е.В., Гостева А.А. Бақылау жүйелерінде Google Earth Engine қолдану // Жерді қашықтан зондтаудың өңірлік мәселелері. 2021. № 6. Б. 132–135 (орыс тілінде)
8. Динг Ю. Google Earth Engine және жоғары мерзімділік қашықтан зондтау деректерін қолдана отырып Малай аралдарының жағалау сызығының динамикасын бақылау // Қашықтан зондтау. 2021. Т. 13. № 19. Б. 3842 (орыс тілінде)
9. Васильев В.Н. Қолданыстағы ГАЗ шолуы // Жас ғалым. 2016. № 14. Б. 62–66 (орыс тілінде)

REFERENCES

1. Muratkhanov D.B., Rakhimov T.A., Rakhmetov I.K. Primenenie metodov matematicheskogo modelirovaniya dlya prognoza antropogennogo vliyaniya podzemnykh vod na gidroekologicheskoe sostoyanie oz. Balkhash (Kazakhstan) [Application of mathematical modeling methods to predict the

- anthropogenic impact of groundwater on the hydroecological state of Lake Balkhash (Kazakhstan)], Sergeevskie chteniya. Fundamental'nye i prikladnye voprosy inzhenernoi geodinamiki [Sergeev's Readings. Fundamental and Applied Questions of Engineering Geodynamics]. 2023. No. 24. 233–238 pp. (in Russian)*
2. Katlane R. Monitoring of sea surface temperature, chlorophyll, and turbidity in Tunisian waters from 2005 to 2020 using MODIS imagery and the Google Earth Engine // *Regional Studies in Marine Science*. 2023. V. 66. 103–113 pp. (in English)
 3. Karimzadeh S. Google Earth Engine Based Approach for Coastal Water Monitoring: a Case Study of the Southern Shore of Caspian Sea // *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. 2023. V. 48. 59–64 pp. (in English)
 4. Velastegui-Montoya A. Google Earth Engine: a global analysis and future trends // *Remote Sensing*. 2023. V. 15. No. 14. 3675 p. (in English)
 5. Danilova I.V., Fedotova E.V., Burenina T.A. Ispol'zovanie Google Earth Engine dlya rascheta sostavlyayushchikh vodnogo balansa v basseine reki podkamennaya tunguska [Using Google Earth Engine to calculate the components of the water balance in the Podkamennaya Tunguska River basin], *Informatsionnye tekhnologii i vysokoproizvoditel'nye vychisleniya [Information Technology and High-Performance Computing]*. 2023. No. 10. 80–84 pp. (in Russian)
 6. Drobinina E.V. Opyt ispol'zovaniya platformy Google Earth Engine dlya otsenki ploshchadei termokarstovykh ozer [Experience using the Google Earth Engine platform to assess the areas of thermokarst lakes], *Aerokosmicheskie metody v geologii [Aerospace Methods in Geology]*. 2021. No. 3. 289–294 pp. (in Russian)
 7. Fedotova E.V., Gosteva A.A. Ispol'zovanie Google Earth Engine v sistemakh monitoringa [Using Google Earth Engine in monitoring systems], *Regional'nye problemy dstantsionnogo zondirovaniya Zemli [Regional Problems of Remote Sensing of the Earth]*. 2021. No. 6. 132–135 pp. (in Russian)
 8. Ding Y. Monitoring coastline changes of the malay islands based on google earth engine and dense time-series remote sensing images // *Remote Sensing*. 2021. V. 13. No. 19. 3842 p. (in English)
 9. Vasiliev V.N. Obzor sushchestvuyushchikh GIS [Overview of existing GIS], *Molodoi uchenyi [The Young Scientist]*. 2016. No. 14. 62–66 pp. (in Russian)

Сведения об авторах:

Рахимов Г., к.т.н., старший преподаватель кафедры «Маркшейдерское дело и геодезия» НАО «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан), gelman.rakhimov@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-4930-4075>

Игемберлина М.Б., доктор Ph.D, и.о. доцента кафедры «Маркшейдерское дело и геодезия» НАО «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан), igemberlina@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-4243-7748>

Жанибек А.Ж., магистрант кафедры «Маркшейдерское дело и геодезия» НАО «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан), asem.zhanibek@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0000-3555-9638>

Батыршаева Ж.М., м.т.н., старший преподаватель кафедры «Маркшейдерское дело и геодезия» НАО «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан), cara-bm@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-4795-3904>

Авторлар туралы мәліметтер:

Рахимов Г., т.ғ.к., «Әбілқас Сағынов Қарағанды техникалық университеті», «Маркшейдерлік іс және геодезия» кафедрасының аға оқытушысы (Қарағанды қ., Қазақстан)

Игемберлина М.Б., Ph.D докторы, «Әбілқас Сағынов Қарағанды техникалық университеті», «Маркшейдерлік іс және геодезия» кафедрасының доцент м.а. (Қарағанды қ., Қазақстан)

Жанибек Ә.Ж., «Әбілқас Сағынов Қарағанды техникалық университеті», «Маркшейдерлік іс және геодезия» кафедрасының магистранты (Қарағанды қ., Қазақстан)

Батыршаева Ж.М., т.ғ.м., «Әбілқас Сағынов Қарағанды техникалық университеті», «Маркшейдерлік іс және геодезия» кафедрасының аға оқытушысы (Қарағанды қ., Қазақстан)

Information about the authors:

Rakhimov G., Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer of the Department of Surveying and Geodesy, NAO «Karaganda Technical University named after A. Saginov» (Karaganda, Kazakhstan)

Igemberlina M.B., Doctor of Ph.D, acting associate professor of the Department of Surveying and Geodesy, NAO «Karaganda Technical University named after A. Saginov» (Karaganda, Kazakhstan)

Zhanibek A.Zh., undergraduate student of the Department of Surveying and Geodesy, NAO «Karaganda Technical University named after A. Saginov» (Karaganda, Kazakhstan)

Batyrshayeva Zh.M., Master of Engineering Science, Senior Lecturer of the Department of Surveying and Geodesy, NAO «Karaganda Technical University named after A. Saginov» (Karaganda, Kazakhstan)