

of monitoring standards have been presented. The aim of the study is to substantiate the need for comprehensive digitalization of water management as a basis for sustainable water use and effective transboundary cooperation in the Shu and Talas River basins.

Key words: transboundary groundwater, water security, resource management, GIS technologies, Shu-Talas basin.

Вклад авторов: Концептуализация – М.Е.Ж.; Курирование данных – С.Е.В.; Формальный анализ – А.Д.К.; Приобретение финансирования – М.Е.Ж.; Расследование – Т.С.Р., М.Е.Ж.; Методология – М.Е.Ж., А.Д.К.; Администрирование проекта – М.Е.Ж.; Ресурсы – С.Е.В., Т.С.Р.; Программное обеспечение – М.О.Л., А.Д.К., С.Е.В.; Надзор – С.Е.В.; Проверка – М.Е.Ж., А.Д.К.; Визуализация – М.О.Л.; Роли/Письмо – первоначальный проект – М.Е.Ж., А.Д.К.; и Написание – обзор и редактирование – М.Е.Ж., А.Д.К., М.О.Л.

MPNТИ 68.41.01

DOI <https://doi.org/10.37884/3-2025/43>

¹А.А. Алтаева, ^{1,2*}А.Б. Даркенбаева, ³Б.Б. Садықов

¹ ТОО «Международная образовательная корпорация», Алматы, Казахстан,
a.altaeva@kazgasa.kz

² Казахский национальный аграрный исследовательский университет, Алматы,
Казахстан, darkenbayevaassel@gmail.com*

³ ТОО «Leica Geosystems Казахстан», Алматы, Казахстан, batyrkhan_sadykov@mail.ru

МОНИТОРИНГ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ КЫЗЫЛОРДИНСКОЙ ОБЛАСТИ С ПРИМЕНЕНИЕМ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Аннотация

В условиях глобальных климатических изменений и дефицита водных ресурсов возрастает необходимость внедрения современных технологий мониторинга для повышения эффективности ведения сельского хозяйства. Настоящая статья посвящена анализу возможностей применения дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) и геоинформационных систем (ГИС) для мониторинга состояния сельскохозяйственных территорий Кызылординской области. В качестве ключевого инструмента использован индекс NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), позволяющий оперативно оценивать состояние растительности и продуктивность агроценозов. На основе спутниковых данных за вегетационные периоды последних лет были выявлены пространственные и временные изменения состояния сельскохозяйственных угодий, что позволило определить зоны с устойчивым развитием и проблемные участки, требующие дополнительного внимания. В работе представлены тематические карты распределения NDVI, проанализированы факторы, влияющие на снижение вегетационной активности, включая погодные условия, уровень ирригации и деградацию почв. Полученные результаты подтверждают высокую информативность и практическую ценность использования NDVI в агромониторинге, а также подчеркивают необходимость интеграции дистанционных методов в систему управления сельским хозяйством региона. Предложенный подход может быть полезен для органов государственного управления, фермерских хозяйств и научных учреждений при принятии решений по адаптации сельского хозяйства к современным климатическим вызовам.

Ключевые слова: NDVI, дистанционное зондирование Земли, Sentinel-2, ArcGIS Pro, сельское хозяйство, Кызылординская область, агромониторинг, вегетационный индекс, геоинформационные технологии, растительность.

Введение

Сельское хозяйство в XXI веке сталкивается с необходимостью быстрого реагирования на растущие климатические риски, сокращение водных ресурсов и деградацию земель. В этих условиях возрастает значение цифровых технологий, обеспечивающих системный подход к управлению аграрными ландшафтами. Ключевую роль в этом процессе играют методы дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) и геоинформационные системы (ГИС), позволяющие получать достоверную и пространственно детализированную информацию о состоянии посевов, почвенного покрова и водного режима.

Одним из наиболее надёжных и широко применяемых индикаторов оценки состояния растительности является индекс нормализованной разности вегетации (NDVI). Его расчёт основан на соотношении отражательной способности растительного покрова в красной и ближней инфракрасной областях спектра. NDVI позволяет выявлять участки с низкой продуктивностью, зоны риска и отслеживать динамику агроландшафтов в течение всего вегетационного периода.

Зарубежная практика показывает, что NDVI эффективно используется как в крупномасштабных программах государственного мониторинга (например, в Индии и США), так и в системах точного земледелия в Израиле, где с его помощью оптимизируется орошение и управление ресурсами. Эти подходы демонстрируют высокую результативность при адаптации аграрных систем к экстремальным погодным условиям.

Кызылординская область Республики Казахстан является типичным примером региона, испытывающего давление засушливого климата и водных ограничений. Особое внимание в настоящем исследовании уделяется сельскохозяйственным районам области — Кармакшинскому, Казалинскому и Жалагашскому, где в последние годы отмечается активизация агропроизводства. В условиях нестабильного водоснабжения и высокой температуры воздуха применение NDVI позволяет оперативно контролировать состояние посевов и принимать решения, направленные на стабилизацию урожайности.

Целью настоящей работы является анализ динамики вегетационного индекса NDVI на основе спутниковых данных Sentinel-2, а также оценка пространственных изменений растительности за пятилетний период. Полученные результаты могут быть использованы для совершенствования систем мониторинга и адаптивного управления сельскохозяйственными территориями в засушливых регионах.

В последние десятилетия наблюдается стремительное развитие методов дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), применяемых в задачах оценки и управления сельскохозяйственными ресурсами. Рост доступности спутниковых данных и развитие программного обеспечения для их обработки способствовали активному внедрению геоинформационных технологий в аграрную отрасль. Данные методы позволяют осуществлять регулярный мониторинг состояния растительности, выявлять стрессовые зоны и прогнозировать урожайность на основе вегетационных индексов.

Среди множества разработанных индексов, нормализованный разностный вегетационный индекс (NDVI) остаётся одним из самых широко используемых. Принцип его действия основан на различной способности зелёной растительности поглощать красный свет и отражать ближний инфракрасный (NIR) диапазон. Первые фундаментальные исследования по NDVI были проведены ещё в 1970-х годах [1, 2] после чего индекс получил широкое распространение благодаря своей простоте и высокой информативности. В дальнейшем NDVI использовался в различных климатических зонах мира — от тропических до аридных регионов — для анализа биомассы, отслеживания темпов роста культур, а также мониторинга засух и деградации земель [3, 4].

Международный опыт подтверждает важность этого индекса в государственной политике продовольственной безопасности. Например, в Индии и Китае он используется для наблюдения за урожайностью на национальном уровне. В странах ЕС и США данные NDVI применяются для планирования поливов, определения сроков посева и оценки эффективности

сельскохозяйственного производства. В Израиле он входит в состав цифровых платформ «умного земледелия» с интеграцией в автоматизированные системы управления водными ресурсами.

В научных исследованиях, проводимых в Казахстане, также прослеживается тенденция активного внедрения ДЗЗ и NDVI. В частности, работы Кенжегалиева [5], Рафикова и коллег [6], Айтхожаева и соавторов [7] указывают на эффективность использования спутников Sentinel-2 и Landsat-8 для отслеживания состояния посевов, ирригационной активности и выявления деградированных участков. При этом особое внимание уделяется регионам с повышенной климатической уязвимостью, в том числе Кызылординской области.

Некоторые авторы предлагают комбинировать NDVI с другими индексами (SAVI, EVI), а также использовать метеорологические и почвенные данные для более точного моделирования аграрных процессов [8, 9]. В последние годы большое значение приобретают облачные платформы, такие как Google Earth Engine, позволяющие автоматизировать обработку больших массивов данных и строить пространственно-временные модели вегетации.

Таким образом, обобщённый анализ научной литературы свидетельствует о высокой эффективности NDVI как инструмента агромониторинга. Однако остаётся недостаточно исследований, ориентированных на интеграцию спутникового мониторинга в систему управления сельским хозяйством засушливых регионов Казахстана. Настоящее исследование направлено на восполнение этого пробела.

Методы исследования

Одним из наиболее эффективных инструментов мониторинга сельскохозяйственных территорий является дистанционное зондирование Земли. Спутниковая съёмка позволяет получать данные о состоянии почв, растительности и влажности на больших площадях с высокой периодичностью.

Среди популярных спутников можно выделить программы Sentinel (Европейское космическое агентство) и Landsat (NASA и USGS), обеспечивающие доступ к данным в открытом доступе. Эти данные активно используются для: оценки состояния урожая на разных стадиях вегетации, выявления засух и затоплений, мониторинга деградации почв.

Геоинформационные системы служат важным инструментом пространственного анализа данных, полученных с помощью ДЗЗ и датчиков IoT [10-12]. С помощью ГИС осуществляется: создание тематических карт урожайности, влажности почвы, моделирование процессов эрозии, определение зон риска (засуха, переувлажнение). ГИС-платформы, такие как ArcGIS или QGIS, позволяют агрономам и землевладельцам оперативно визуализировать и анализировать данные для принятия эффективных решений [13-14].

Технологии IoT в сельском хозяйстве включают развертывание сетей датчиков, собирающих информацию в режиме реального времени. Эти системы способны фиксировать: температуру и влажность почвы, уровень освещённости, концентрацию питательных веществ.

Искусственный интеллект (ИИ) и машинное обучение позволяют проводить интеллектуальную обработку больших массивов данных, выявляя скрытые закономерности и делая прогнозы.

Каждая из технологий решает свои задачи и может быть особенно эффективной в комплексе. ДЗЗ обеспечивает глобальный мониторинг, IoT — локальный контроль, ГИС — пространственный анализ, а ИИ — интеллектуальную интерпретацию. Их интеграция даёт возможность построения системы точного земледелия.

Результаты исследований

Для проведения мониторинга состояния сельскохозяйственных территорий Кызылординской области были использованы методы дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) с применением спутниковых данных, а также инструменты геоинформационного анализа. Исследование охватывает вегетационные периоды последних 3 лет (2022–2024 гг.), что позволило выявить динамику изменений в состоянии растительного покрова на исследуемой территории.

В качестве основного индикатора состояния растительности применялся нормализованный относительный вегетационный индекс (NDVI), который рассчитывается по формуле:

$$NDVI = \frac{(NIR - RED)}{(NIR + RED)}$$

где NIR — отражательная способность в ближнем инфракрасном диапазоне, RED — отражательная способность в красном диапазоне. Значения NDVI варьируются от -1 до +1: отрицательные значения соответствуют водной поверхности, значения от 0 до 0.2 — бесплодным землям, а значения выше 0.3 — активной вегетации.

Источником спутниковых изображений служили данные Sentinel-2 (с разрешением 10 м), предоставляемые Европейским космическим агентством (ESA) через платформу Copernicus Open Access Hub. Обработка данных осуществлялась с использованием открытого программного обеспечения QGIS и инструментария Google Earth Engine (GEE), что позволило проводить расчет NDVI по временным сериям и генерировать карты распределения индекса.

В рамках пространственного анализа были выбраны ключевые сельскохозяйственные районы Кызылординской области, включая участки с различным типом землепользования (рисоводство, пастбища, орошаемые и богарные земли). На этих участках производился расчет среднемесячных значений NDVI с последующим сопоставлением с климатическими и агротехническими данными (температура воздуха, осадки, нормы ирригации и т. д.), полученными из открытых источников и региональных аграрных служб.

Для интерпретации результатов были построены временные ряды NDVI, проведена классификация земель по уровню вегетационной активности, а также выполнен сравнительный анализ вегетационных характеристик между разными сезонами и районами. Это позволило выявить зоны с устойчиво высокой и устойчиво низкой продуктивностью, а также участки, подверженные деградационным процессам.

ArcGIS Pro представляет собой полнофункциональное настольное приложение для работы с географическими информационными системами (ГИС), разработанное компанией Esri. Данное программное обеспечение предоставляет возможности для глубокого анализа, визуализации и интерпретации геопространственных данных. Оно поддерживает создание 2D-карт и 3D-моделей, а также позволяет публиковать результаты работы в онлайн-платформе ArcGIS Online или на корпоративных порталах ArcGIS Enterprise.

Для анализа сельскохозяйственных территорий в исследовании использовались спутниковые данные с помощью каналов B4 (665 нм) и B8 (842 нм) спутников Sentinel-2. Эти каналы были выбраны для анализа растительности, так как спектральные характеристики растительности характеризуются значительным поглощением в видимом спектре красного света и сильным отражением в ближнем инфракрасном диапазоне (NIR) для здоровых растений. С использованием данных этих каналов возможно рассчитать индекс нормализованной разницы вегетации (NDVI), который эффективно характеризует степень зелёности растительности. Показатель NDVI положительно коррелирует с наличием зелёных растений и является важным индикатором для оценки плотности и состояния растительности на исследуемых территориях.

Формула для Sentinel-2:

$$(B8 - B4) / (B8 + B4)$$

где: B8 = 842 нм, B4 = 665 нм.

Значение диапазона NDVI равно -1 и 1, например:

Исследуемый регион был выбран в связи с активным развитием сельскохозяйственного сектора в Кармакшинском, Казалинском и Жалагашском районах Кызылординской области, что делает их более репрезентативными для анализа в сравнении с другими районами. Для проведения исследования были использованы спутниковые снимки данного региона, загруженные с портала Copernicus Open Access Hub за 2018 и 2023 годы (рисунок 1).

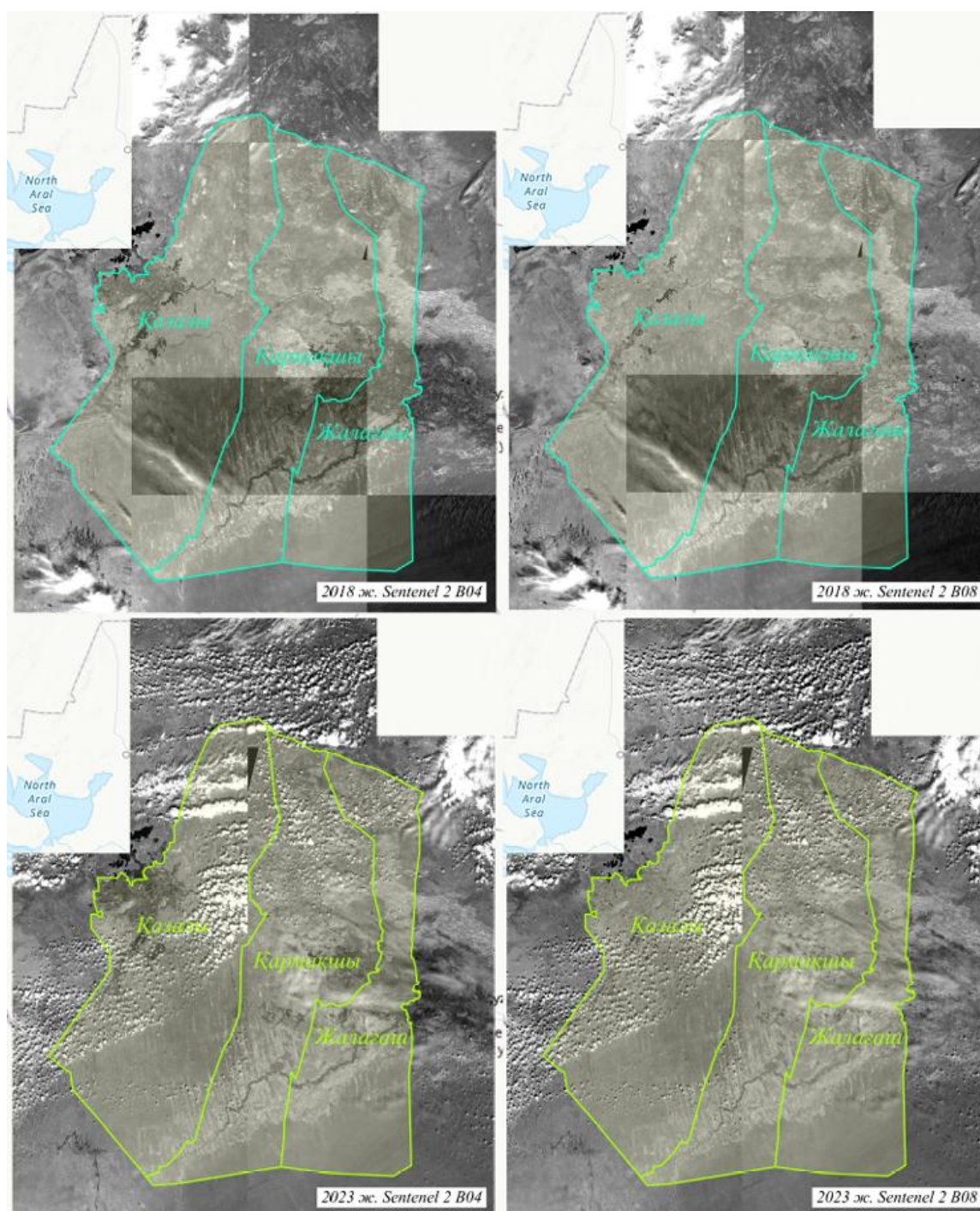


Рисунок 1 - Просмотр снимков Sentinel 2 на каналах B4 и B8 2018 и 2023 годов в ArcGIS Pro

Загруженные спутниковые снимки были объединены в один растровый файл с использованием инструмента «Мозаика для нового растра» (Mosaic To New Raster) в программном обеспечении ArcGIS Pro. Этот инструмент позволяет интегрировать несколько отдельных растровых слоев в единый новый растровый слой. Далее комбинированные изображения были обрезаны с помощью инструмента «Выписка по маске» (Extract by Mask), что позволило выделить интересующие участки, соответствующие границам Кармакшинского, Казалинского и Жалагашского районов Кызылординской области. Инструмент «Выписка по маске» извлекает пиксели из исходного растра, соответствующие пространственно заданным участкам, определяемым маской (рисунок 2).

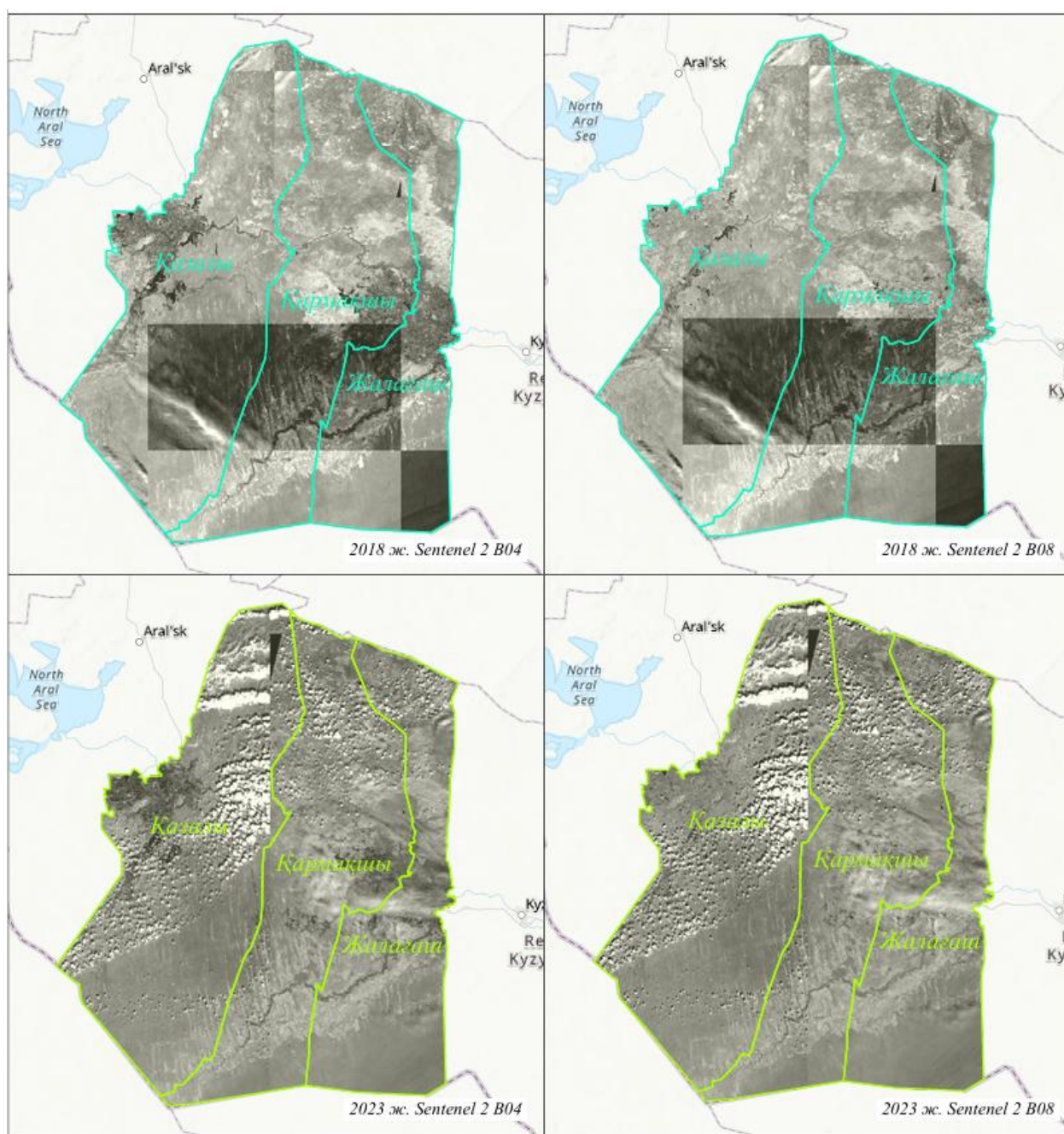


Рисунок 2. - Просмотр съемок Sentinel 2 2018 и 2023 годов на каналах B4 и B8 Кызылординской области по пер. Кармакшинский, Казалинский, Жалағаш в программе ArcGIS Pro

Для оценки показателей растительности в исследуемом районе был рассчитан индекс NDVI. Для этого использовался инструмент «Растровый калькулятор» (Raster Calculator), который позволяет создавать и выполнять выражения алгебры растровых данных. В рамках данного процесса была введена соответствующая формула в окно инструмента с выбором необходимых спутниковых снимков, что обеспечило расчет NDVI на основе данных, представленных в программе (рисунок 3).

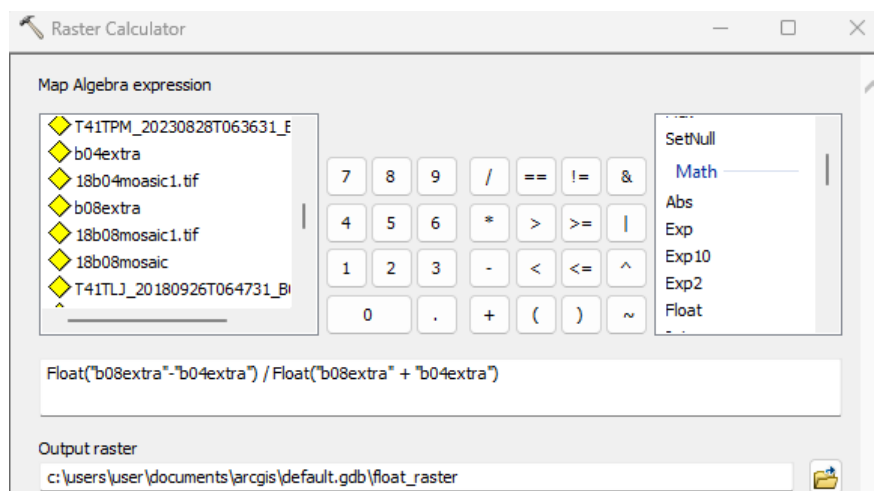


Рисунок 3 - Из съемок Sentenel 2 за 2018 год формула индекса NDVI для нахождения значений показателей растений калькулятор раstra в ArcGIS Pro окно 094 («b04extra» - канал 4 и «b08extra» - канал 8)

Таким же образом рассчитаны значения показателей растительности 2023 года (рисунок 4).

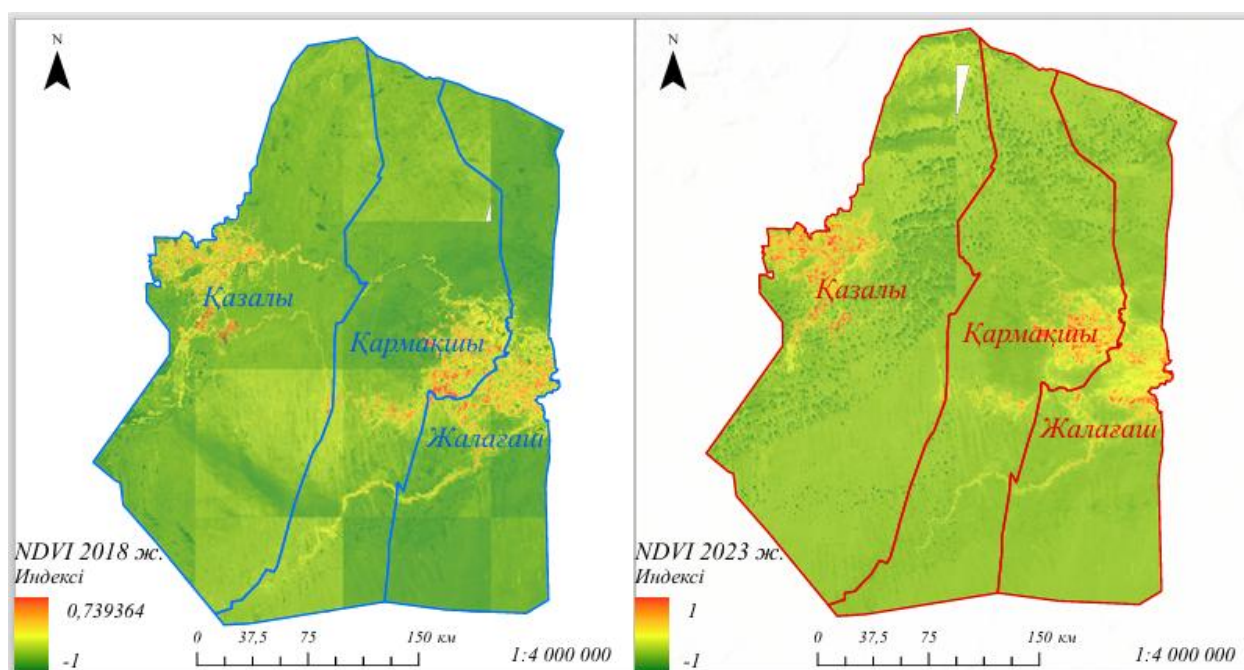


Рисунок 4 - Значения показателей индекса NDVI съемок Sentenel 2 за 2018 и 20123 годы

Отрицательные значения дают поверхности воды, здания, горы, облака, снег; открытая почва обычно соответствует индексу 0,1-0,2. В случае растений это всегда положительные значения от 0,2 до 1. Показатель здоровых, густых растений должен быть выше 0,5; в редких случаях этот показатель составляет от 0,2 до 0,5. Судя по районным показателям, можно увидеть, что индекс NDVI в 2018 году был плотным и здоровым со значением -1 – 0,74, а в 2023 году индекс NDVI был заполнен значением -1 – 1 в 2023 году.

Заклучение

Современные технологии мониторинга сельскохозяйственных территорий играют решающую роль в повышении эффективности сельского хозяйства и адаптации агропроизводства к изменяющимся климатическим условиям.

Применение дистанционного зондирования Земли, беспилотных летательных аппаратов, геоинформационных систем, Интернета вещей и методов искусственного интеллекта позволяет не только получать оперативные данные о состоянии посевов, но и прогнозировать урожайность, оптимизировать использование водных и земельных ресурсов, снижать издержки и минимизировать риски.

В результате проведенного исследования была выполнена оценка состояния растительности на сельскохозяйственных территориях Кармакшинского, Казалинского и Жалагашского районов Кызылординской области с использованием данных спутников Sentinel-2. Применение индекса нормализованной разности вегетации (NDVI) позволило получить количественную характеристику вегетационной активности и выявить изменения состояния растительности за период с 2018 по 2023 год. Использование инструмента ArcGIS Pro для обработки и анализа спутниковых изображений, включая мозаичную сборку данных и применение растрового калькулятора, обеспечило высокую точность и наглядность полученных результатов.

Полученные данные свидетельствуют о значительных изменениях в состояниях сельскохозяйственных угодий, что позволяет сделать выводы о влиянии агротехнических мероприятий и климатических факторов на вегетацию региона. Индекс NDVI стал эффективным инструментом для мониторинга состояния растительности и оценки динамики изменений на основе дистанционного зондирования Земли. Данное исследование может служить основой для дальнейшего мониторинга и разработки рекомендаций по улучшению управления сельскохозяйственными территориями в области.

Благодарность, конфликт интересов. Автор выражает благодарность всем коллегам и исследователям, чьи работы послужили основой для данного исследования. Также благодарим команду Copernicus Open Access Hub за предоставление доступа к спутниковым данным Sentinel-2, без которых невозможно было бы выполнить данное исследование.

Авторы заявляют, что конфликта интересов нет.

Список литературы

1. Segarra, J., Buchailot, M. L., Araus, J. L., Kefauver, S. C. Remote sensing for precision agriculture: Sentinel-2 improved features and applications. *Agronomy*, 10(5), Article 641, 2020. P. 2-18. <https://doi.org/10.3390/agronomy10050641>.
2. Huang, S. A commentary review on the use of normalized difference vegetation index (NDVI). *Journal of Forest Research*, 32(4), 2021. P. 683–698. <https://doi.org/10.1007/s11676-020-01155-1>.
3. Liepa, A. et al. Harmonized NDVI time-series from Landsat and Sentinel-2: Capturing phenological patterns. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 29, 2024. P. 100—115. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2024.1000946>.
4. Rafikov, T., Zhumatayeva, Z., Mukaliyev, Z., & Zhildikbayeva, A. Evaluating land degradation in East Kazakhstan using NDVI and Landsat data. *International Journal of Design Nature and Ecodynamics*, 19(5), 2024. P. 1677–1686. <https://doi.org/10.18280/ijdne.190521>.
5. Кенжегалиев Е.М. Система спутникового мониторинга состояния посевов сельскохозяйственных культур. *Международный научный журнал «Вестник науки»*, № 4 (25), том 4, 2020. С. 87–90.
6. Рафиков Т., Ерболкызы М., Жилдикбаева А. Применение данных дистанционного зондирования земли и анализа NDVI в Восточно-Казахстанской области. *Izdenister Natigeler*, (1 (101), 2024. С.183–191. <https://doi.org/10.37884/1-2024/18>.
7. Айтхожаева, Г., Жилдикбаева, А., Пентаев, Т., Баухан, А., Жумагалиева, Н., Гурскиене В. Современное состояние использования земель сельскохозяйственного назначения в контексте устойчивого развития. *Izdenister Natigeler*, (3(103), 2024. С. 380–387. <https://doi.org/10.37884/3-2024/42>.
8. Rafikov, T., Erbolkyzy, M., Zhildikbayeva, A. Применение данных дистанционного зондирования Земли и анализа NDVI в Восточно-Казахстанской области. *Ізденістер*,

нәтижелер – Исследования, результаты, (1)101, 2024. P. 183–192. <https://doi.org/10.37884/1-2024/18>.

9. Alpysbay, M. A., & Gapparov, A. Z. Agricultural land monitoring using Sentinel-2 satellite data. Engineering Journal of Satbayev University, 143(2), 2021. P. 14–21. <https://doi.org/10.51301/vest.su.2021.i2.02>.

10. Arystanov, A. Use of indices applied to remote sensing for establishing winter wheat crops in South Kazakhstan. Sustainability, 16(17), 2024. P. 7548. <https://doi.org/10.3390/su16177548>

11. Nugmanov, A. Quantitative assessment of soil condition based on Sentinel-2 for flax productivity in the steppe zone of Kazakhstan. Journal of Agricultural Science and Technology, 15(3), 2023. P. 55–67. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/37971089/>.

12. Farmonov, N., Amankulova, K., Szatmari, J., Urinov, J., Narmanov, Z., Nosirov, J., Mucsi, L. Combining PlanetScope and Sentinel-2 images with environmental data for improved wheat yield estimation. International Journal of Digital Earth, 16(1), 2023. P. 847–867. <https://doi.org/10.1080/17538947.2023.2186505>

13. Löw, F. Mapping abandoned agricultural land in Kyzyl-Orda, southern Kazakhstan. Land Use Policy, 48, 2015. P. 76–86. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2015.04.024>

14. Kabzhanova, G. Remote sensing applications for pasture assessment in Kazakhstan. Agronomy, 15(3), 2025. P. 526–529. <https://doi.org/10.3390/agronomy15030526>.

References

1. Segarra, J., Buchaillet, M. L., Araus, J. L., Kefauver, S. C. Remote sensing for precision agriculture: Sentinel-2 improved features and applications. Agronomy, 10(5), Article 641, 2020. P. 2–18. <https://doi.org/10.3390/agronomy10050641>.

2. Huang, S. A commentary review on the use of normalized difference vegetation index (NDVI). Journal of Forest Research, 32(4), 2021. P. 683–698. <https://doi.org/10.1007/s11676-020-01155-1>.

3. Liepa, A. et al. Harmonized NDVI time-series from Landsat and Sentinel-2: Capturing phenological patterns. Remote Sensing Applications: Society and Environment, 29, 2024. P. 100–115. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2024.1000946>.

4. Rafikov, T., Zhumatayeva, Z., Mukaliyev, Z., & Zhildikbayeva, A. Evaluating land degradation in East Kazakhstan using NDVI and Landsat data. International Journal of Design Nature and Ecodynamics, 19(5), 2024. P. 1677–1686. <https://doi.org/10.18280/ij dne.190521>.

5. Kenzhegaliev E.M. Satellite monitoring system for the state of agricultural crops. International scientific journal "Bulletin of Science", No. 4 (25), Vol. 4, 2020. P. 87–90.

6. Rafikov T., Erbolkyzy M., Zhildikbaeva A. Application of remote sensing data and NDVI analysis in the East Kazakhstan region. Izdenister Natigeler, (1 (101), 2024. P. 183–191. <https://doi.org/10.37884/1-2024/18>.

7. Aitkhozhaeva, G., Zhildikbaeva, A., Pentayev, T., Bauhan, A., Zhumagalieva, N., Gurskiene, V. Current state of agricultural land use in the context of sustainable development. Izdenister Natigeler, (3(103), 2024. P. 380–387. <https://doi.org/10.37884/3-2024/42>.

8. Rafikov, T., Erbolkyzy, M., Zhildikbayeva, A. Primenenie dannykh distantsionnogo zondirovaniya Zemli i analiza NDVI v Vostochno-Kazakhstanskoy oblasti. Izdenister, nәtizheler – Issledovaniya, rezultaty, (1)101, 2024. P. 183–192. <https://doi.org/10.37884/1-2024/18>.

9. Alpysbay, M. A., & Gapparov, A. Z. Agricultural land monitoring using Sentinel-2 satellite data. Engineering Journal of Satbayev University, 143(2), 2021. P. 14–21. <https://doi.org/10.51301/vest.su.2021.i2.02>.

10. Arystanov, A. Use of indices applied to remote sensing for establishing winter wheat crops in South Kazakhstan. Sustainability, 16(17), 2024. P. 7548. <https://doi.org/10.3390/su16177548>.

11. Nugmanov, A. Quantitative assessment of soil condition based on Sentinel-2 for flax productivity in the steppe zone of Kazakhstan. Journal of Agricultural Science and Technology, 15(3), 2023. P. 55–67. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/37971089/>.

12. Farmonov, N., Amankulova, K., Szatmari, J., Urinov, J., Narmanov, Z., Nosirov, J., Mucsi, L. Combining PlanetScope and Sentinel-2 images with environmental data for improved wheat yield estimation. *International Journal of Digital Earth*, 16(1), 2023. P. 847–867. <https://doi.org/10.1080/17538947.2023.2186505>.

13. Löw, F. Mapping abandoned agricultural land in Kyzyl-Orda, southern Kazakhstan. *Land Use Policy*, 48, 2015. P. 76–86. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2015.04.024>.

14. Kabzhanova, G. Remote sensing applications for pasture assessment in Kazakhstan. *Agronomy*, 15(3), 2025. P. 526–529. <https://doi.org/10.3390/agronomy15030526>.

¹*А.А. Алтаева, ^{1,2*}А.Б. Даркенбаева, ³Б.Б. Садықов*

¹ «Халықаралық білім корпорациясы» ЖШС, Алматы, Қазақстан, a.altayeva@kazgasa.kz

² Қазақ ұлттық аграрлық зерттеу университеті, алмалы қ., Қазақстан, darkenbayevaassel@gmail.com*

³ «Leica Geosystems Казахстан» ЖШС, Алматы, Қазақстан, atyrkhan_sadykov@mail.ru

КЫЗЫЛОРДА ОБЛЫСЫНЫҢ АУЫЛ ШАРУАШЫЛЫҒЫ АЙМАҚТАРЫН ЗАМАНАУИ ТЕХНОЛОГИЯЛАРДЫ ҚОЛДАНА ОТЫРЫП БАҚЫЛАУ

Аңдатпа

Глобалды климаттық өзгерістер мен су ресурстарының тапшылығы жағдайында ауыл шаруашылығын тиімді жүргізу үшін заманауи мониторинг технологияларын енгізу қажеттілігі артууда. Бұл мақала Қызылорда облысының ауыл шаруашылығы аумақтарының жағдайын мониторингтеу үшін жерді қашықтықтан зондтау (ЖҚЗ) және геоақпараттық жүйелерді (ГАЖ) қолдану мүмкіндіктерін талдауға арналады. Негізгі құрал ретінде NDVI (Нормаланған айырымды өсімдік индексі) индексі қолданылды, ол өсімдік жағдайын және агроценоздардың өнімділігін жедел бағалауға мүмкіндік береді. Соңғы жылдардағы вегетациялық кезеңдердегі спутник деректері негізінде ауыл шаруашылығы жерлерінің кеңістіктік және уақыттық өзгерістері анықталды, бұл тұрақты дамыған аймақтарды және қосымша назар аударуды қажет ететін проблемалық учаскелерді анықтауға мүмкіндік берді. Жұмыста NDVI таралуының тақырыптық карталары ұсынылған, вегетациялық белсенділіктің төмендеуіне әсер ететін факторлар, оның ішінде ауа райы жағдайлары, суару деңгейі және топырақтың деградациясы талданған. Алынған нәтижелер NDVI-дің агромониторингтегі жоғары ақпараттылығы мен практикалық құндылығын растайды және облыстың ауыл шаруашылығын басқару жүйесіне қашықтықтан әдістерді интеграциялау қажеттілігін көрсетеді. Ұсынылған тәсіл мемлекеттік органдарға, фермерлік шаруашылықтарға және ғылыми мекемелерге ауыл шаруашылығын қазіргі климаттық қиындықтарға бейімдеуге шешімдер қабылдауда пайдалы болуы мүмкін.

Кілт сөздер: NDVI, жерді қашықтықтан зондтау, Sentinel-2, ArcGIS Pro, ауыл шаруашылығы, Қызылорда облысы, агромониторинг, вегетациялық индекс, геоақпараттық технологиялар, өсімдіктер.

¹*A.A. Altayeva, ^{1,2*}A.B. Darkenbaeva ³B.B. Sadykov*

¹ LLP "International Educational Corporation", Almaty, Kazakhstan, a.altayeva@kazgasa.kz

² Kazakh national agrarian research university, Almaty, Kazakhstan, darkenbayevaassel@gmail.com*

³ LLP «Leica Geosystems Казахстан», Almaty, Kazakhstan, batyrkhan_sadykov@mail.ru

MONITORING OF AGRICULTURAL AREAS IN KYZYLORDA REGION USING MODERN TECHNOLOGIES

Abstract

In the context of global climate change and water resource scarcity, the need to implement modern monitoring technologies to improve agricultural efficiency is increasing. This article is dedicated to analyzing the potential of Earth remote sensing (ERS) and geographic information systems (GIS) for monitoring the condition of agricultural lands in the Kyzylorda region. The key tool used is the NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), which allows for the operational

assessment of vegetation condition and agroecosystem productivity. Based on satellite data from recent years' vegetation periods, spatial and temporal changes in the state of agricultural lands were identified, which made it possible to determine areas with sustainable development and problematic zones requiring additional attention. The paper presents thematic maps of NDVI distribution, analyzes factors affecting the decrease in vegetation activity, including weather conditions, irrigation levels, and soil degradation. The results confirm the high informational value and practical significance of using NDVI in agro-monitoring, and highlight the need for integrating remote sensing methods into the regional agricultural management system. The proposed approach can be useful for government bodies, farming enterprises, and research institutions in making decisions on adapting agriculture to modern climate challenges.

Keywords: NDVI, Earth remote sensing, Sentinel-2, ArcGIS Pro, agriculture, Kyzylorda region, agro-monitoring, vegetation index, geospatial technologies, vegetation.

Вклад авторов:

Алтаева А.А. — методическое сопровождение, сбор и обработка данных, написание основного текста статьи.

Даркенбаева А.Б. — сбор и обработка данных, написание и редактирование текста статьи. Отбор данных; Формальный анализ; Написание статьи. Методология; Отбор данных; Формальный анализ; Написание статьи.

Садыков Б.Б. — постановка исследования, интерпретация результатов, научное редактирование текста. Концептуализация; Валидация; Написание – обзор и редактирование; Руководство.

МРНТИ 38.61.19

DOI <https://doi.org/10.37884/3-2025/44>

Е.Ж. Муртазин, Д.К. Аденова, С. Тажиев*

¹ *Институт гидрогеологии и геоэкологии им. У.М. Ахмедсафина, Алматы, Казахстан, ye_murtazin@list.ru, adenovadinara@gmail.com*, sula_tashiev@mail.ru*

**ГИДРОГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ
ЛИТИЕНОСНЫХ РАССОЛОВ ШУ-САРЫСУЙСКОЙ ВПАДИНЫ**

Аннотация

Статья посвящена изучению гидрогеохимических условий формирования литиеносных рассолов в пределах Шу-Сарысуйской впадины, одного из перспективных районов Казахстана по добыче лития из подземных вод. На основе анализа химического состава рассолов, минерализации, ионных соотношений и гидрогеологического строения территории выявлены основные факторы, влияющие на аккумуляцию лития. Выявлены гидрогеохимические зоны и подзоны распространения рассолов с минерализацией от 140 до 272 г/л. Химический состав рассолов в основном хлоридный кальциево-натриевый III-б типа, реже хлоридные магниевонатриевый и натриевый III-а типа. Установлена роль тектонических, климатических и литолого-фациальных условий в формировании геохимических барьеров и концентрации лития в подземных водах. Проведен сравнительный анализ состава рассолов различных горизонтов, дана оценка степени их эволюции и минерализации. Из микрокомпонентов в рассолах содержится стронций от 680.5 до 1648.2 мг/л; литий от 24.46 до 55.11 мг/л; рубидий от 4.3 до 8.4 мг/л; цезий от 0.31 до 0.41 мг/л. Полученные результаты позволяют уточнить механизмы литогенеза и обосновать перспективные участки для дальнейших поисков и рационального освоения литиеносных ресурсов региона.