

МРНТИ: 06.75

JEL Classification: Q15, Q24, R14, R52

DOI: <https://doi.org/10.52821/2789-4401-2025-2-35-45>

АНАЛИЗ УГЛЕРОДНОГО БАЛАНСА И ЭКОНОМИЧЕСКОЙ СТОИМОСТИ ЗЕМЕЛЬ КАЗАХСТАНА: ДИНАМИКА И ПЕРСПЕКТИВЫ УПРАВЛЕНИЯ

Е. С. Оскенбаев¹, М. М. Исабаев¹

¹ Университет Нархоз, Алматы, Республика Казахстан

АННОТАЦИЯ

Цель исследования – оценка деградации земель Казахстана за 2001 и 2020 годы, анализ экономических последствий, выявление критических зон и определение приоритетных направлений инвестиций для успешного восстановления.

Методология исследования. В исследовании использованы спутниковые данные дистанционного зондирования MODIS, для мониторинга земных покровов и землепользования, также для отслеживания изменения растительности, измерения биоразнообразия и анализа экологических параметров. Корреляционный анализ и визуализация данных проведены с применением программных обеспечений R.

Оригинальность / ценность исследования – статья вносит вклад в научную литературу по оценке деградации земель Казахстана на основе временных данных MODIS для анализа изменений в покрове земель, позволяющий проводить точный и регулярный мониторинг изменений. Исследование имеет практическую ценность для принятия решений и создания устойчивых стратегий управления земельными ресурсами Казахстана.

Результаты исследования демонстрируют умеренный рост экономической стоимости для невозрастанных территорий Казахстана, когда как восстановленные территории, напротив, испытали значительное снижение стоимости. Сравнительный региональный анализ демонстрирует положительную динамику экономической стоимости земель в одних районах, и снижение в других. Полученные результаты указывают на необходимость дополнительных исследований и разработки эффективных стратегий землепользования, направленных на улучшение углеродного баланса и повышение экономической ценности земель Казахстана на долгосрочной перспективе.

Ключевые слова: деградация земель, изменение климата, продуктивность растениеводства и животноводства, сельскохозяйственные доходы, глобальное потепление, MODIS.

Благодарность. Статья опубликована в рамках проекта, который реализуется за счет грантового финансирования на 2024-2026 гг. Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан по теме ИРН: AP23488084 “Исследование деградации земли и экономических возможностей в Казахстане: на основе интеграции экспериментов выбора устойчивой эколого-интенсивной трансформации”.

ВВЕДЕНИЕ

В последние десятилетия проблема деградации земель привлекла значительное внимание ученых и международных организаций, так как она оказывает существенное влияние на устойчивость экосистем, продовольственную безопасность и экономическое развитие. Согласно глобальным оценкам, примерно 30% земельных территорий мира подвержены деградации, что негативно сказывается на сельскохозяйственной деятельности и снижает доходы, особенно в странах с низким уровнем дохода. Одним из первых исследований, подтвердивших широкомасштабное распространение деградации земель, стало исследование United Nations Convention to Combat Desertification (UNCCD), которое показало, что деградация земель затрагивает около 1,5 миллиарда человек во всем мире [1].

Методы глобального мониторинга, такие как дистанционное зондирование, стали важными инструментами для отслеживания деградации земель на крупных территориях. Одним из часто используемых индексов является Нормализованный разностный вегетационный индекс (NDVI), который позволяет выявить так называемые "горячие точки" деградации. В исследованиях, проведенных Nkonya и другими (2011), von Braun и другими (2013), NDVI применялся для оценки изменений растительности и биоразнообразия в связи с ухудшением почв [2;3]. Эти данные играют ключевую роль в мониторинге деградации на региональном и глобальном уровнях и в формировании глобальных стратегий по восстановлению земельных ресурсов.

Исследования показывают, что деградация земель является многогранной проблемой, затрагивающей как глобальный, так и локальный уровни. Глобальные оценки, такие как те, что проводились под эгидой UNCCD, подчеркивают масштабы проблемы, охватывающие около 30% земных территорий, что негативно сказывается на экосистемных услугах и устойчивости сельского хозяйства. Однако локальные исследования, например, в странах Африки и Центральной Азии, демонстрируют, что ключевые причины деградации могут сильно варьироваться в зависимости от социально-экономического и политического контекста, что подтверждает необходимость более целевых и адаптивных решений.

Одним из основных факторов деградации земель является вырубка лесов. Леса играют важную роль в поддержании структуры почвы, предотвращении эрозии и регулировании водного баланса [4]. При вырубке деревьев почва теряет свою устойчивость, что приводит к эрозии и истощению плодородного слоя почвы [5]. Сельскохозяйственные практики также оказывают значительное влияние на деградацию земель. Избыточный выпас скота, монокультура и чрезмерное использование удобрений и пестицидов способствуют снижению качества почвы и уменьшению её плодородия [6].

Переуплотнение почвы и утрата органических веществ также являются результатами неправильного ведения сельского хозяйства. Урбанизация и строительство инфраструктуры приводят к потере продуктивных земель. Рост городов требует новых территорий, и в результате плодородные почвы заменяются на асфальтированные и бетонные покрытия. Это ограничивает водопроницаемость и снижает продуктивность земель [7]. Климатические изменения также играют значительную роль в деградации земель. Повышение температуры, изменение схем осадков и учащение экстремальных погодных явлений, таких как засухи и наводнения, ускоряют процессы эрозии и опустынивания [8].



Рисунок 1 – Аспекты/Подходы исследования деградации земель.

Примечание – составлено авторами на основании источника [10].

Кроме того, горнодобывающая деятельность и загрязнение почвы химическими веществами от промышленных отходов также способствуют деградации. Выбросы тяжелых металлов и токсичных веществ ухудшают качество почвы, что негативно сказывается на её пригодности для сельского хозяйства и экосистемных функций [9].

Эти факторы в совокупности приводят к деградации земель, что негативно отражается на экосистемах, сельском хозяйстве и благосостоянии населения. Для лучшего понимания проблематики и последующего сбора данных, литературный обзор, согласно исследованию Schert и Yadav (1996), можно разделить на три основных аспекта приложенной (Рисунок 1).

Изменения земельного покрова Казахстана

Для обеспечения комплексной системы оценки и систематического сбора данных по масштабам и последствиям деградации земель в Казахстане, важным компонентом является анализ динамики землепользования и покрытий, основанный на данных дистанционного зондирования, таких как Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (далее MODIS), и экономической оценки экосистемных услуг. Это позволяет оценить стоимость деградации земель через утрату экосистемных услуг, включая углеродное накопление и регулирование климата. Спутниковые данные MODIS широко используются для мониторинга земных покровов и землепользования на больших территориях. Данные MODIS позволяют отслеживать изменения растительности, измерять биоразнообразие и анализировать экологические параметры [11]. Fensholt и другие (2012) в своем исследовании использовали данные MODIS для анализа изменений в покрове земель в засушливых районах Африки, что позволило оценить степень деградации и возможности для восстановления экосистем, в то время как de Jong и другие (2011) использовали данные MODIS для выявления изменений в биомассе и продуктивности растительности, что позволило оценить влияние климатических изменений на земные покровы в различных регионах мира, включая Центральную Азию [12;13]. В исследовании Le и другие (2014) были использованы также данные MODIS для анализа деградации пастбищ в Центральной Азии, включая Казахстан. Выводы показали, что использование данных дистанционного зондирования позволяет проводить точный и регулярный мониторинг изменений, что крайне важно для создания устойчивых стратегий управления земельными ресурсами [14; 15;16].

Статистические данные MODUS свидетельствуют о том, что за последние два десятилетия (с 2001 по 2020 годы) земельный покров Казахстана претерпел значительные изменения, отражая влияние природных процессов, экономического развития и политических решений. Точнее, сравнительный анализ данных о земельном покрове за указанный период выше выявляет существенные сдвиги в структуре растительности, расширении сельскохозяйственных угодий, урбанизации и возможном ухудшении состояния земель. Эти изменения имеют важные последствия для устойчивого управления земельными ресурсами, адаптации к изменению климата, сохранения биоразнообразия и долгосрочной экологической устойчивости страны.

Одним из наиболее заметных изменений является расширение сельскохозяйственных угодий и пастбищ, особенно в южных и центральных регионах Казахстана. Увеличение площади земель, окрашенных в желтые и светло-зеленые оттенки на карте 2020 года (Рисунок 3), по сравнению с теми за 2001 год (Рисунок 2), свидетельствует о преобразовании естественной растительности в пахотные земли и пастбища. Данный процесс согласуется со стратегическим курсом Казахстана на обеспечение продовольственной безопасности и экономическую диверсификацию за счет развития сельского хозяйства. Государственная поддержка в виде субсидий и инвестиций в инфраструктуру способствовала расширению земельного оборота. Однако такое преобразование влечет за собой значительные экологические риски. Превращение естественных лугов в сельскохозяйственные угодья может привести к истощению почв, снижению углеродного баланса и увеличению уязвимости к климатическим экстремумам, таким как засухи. Чрезмерный выпас скота, особенно в засушливых и полусухих зонах, способствует деградации почв и процессам опустынивания. Исследования показывают, что интенсивное использование пастбищ может привести к уплотнению почвы, снижению биоразнообразия растений и уменьшению продуктивности земель, что создаёт долгосрочные проблемы для сельских сообществ [10; 14]. Для предотвращения необратимого ухудшения земельных ресурсов необходимо

разрабатывать стратегии, которые гармонично сочетают повышение сельскохозяйственной продуктивности с экологической устойчивостью.

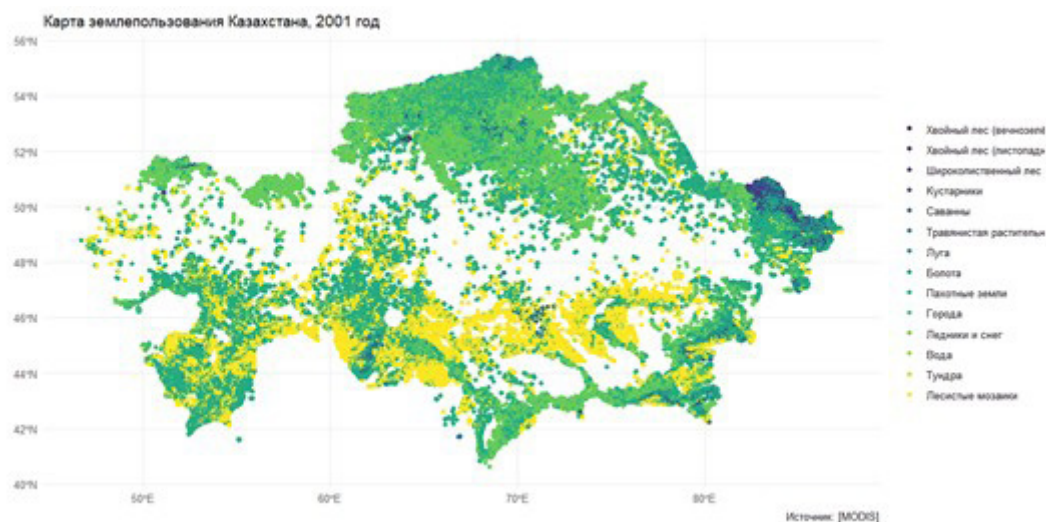


Рисунок 2 - Землепользование Казахстана, 2001 год
Примечание – построено на основе данных MODIS используя программное обеспечение R

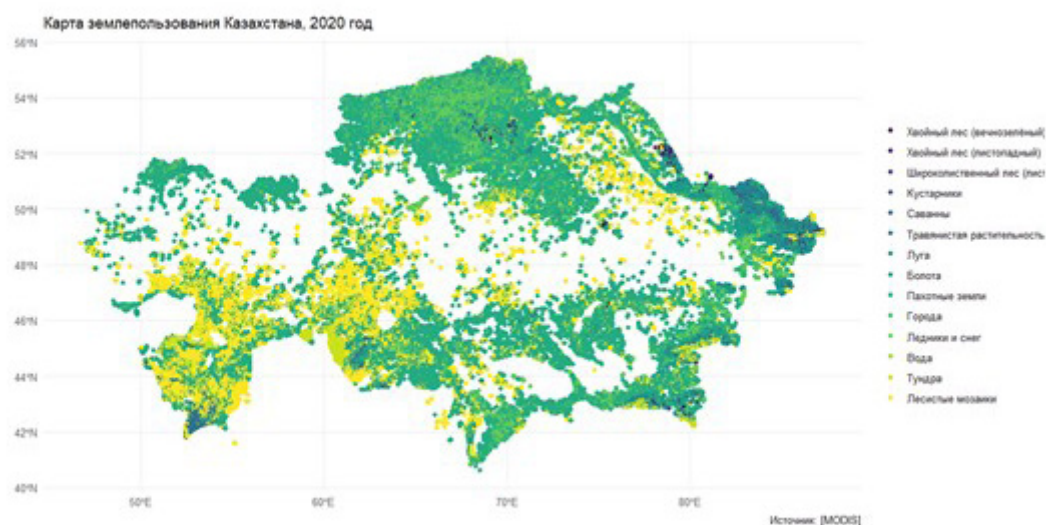


Рисунок 3 - Землепользование Казахстана, 2020 год
Примечание – построено на основе данных MODIS используя программное обеспечение R

Снижение площади лесного покрова, особенно в северных и восточных регионах Казахстана, является ещё одной важной тенденцией, наблюдаемой в период с 2001 по 2020 год. Уменьшение площадей, окрашенных в насыщенно-зеленый цвет, указывает на вырубку лесов, вызванную различными факторами, включая лесозаготовки, расширение сельскохозяйственных угодий и климатические изменения. Несмотря на относительно небольшую площадь лесов по сравнению с бескрайними степями, они играют важную роль в поглощении углерода, поддержании биоразнообразия и регулировании климата. Одним из ключевых факторов потери лесных массивов является увеличение частоты и интенсивности лесных пожаров, вызванных ростом температур и продолжительными засушливыми периодами. Согласно климатическим

прогнозам, темпы потепления в Казахстане превышают глобальные средние показатели, что повышает риски деградации лесов. Дополнительное влияние оказывает деятельность людей, включая незаконную вырубку деревьев и расширение населённых пунктов. Без эффективных программ лесовосстановления и стратегии предотвращения пожаров дальнейшее сокращение лесных экосистем может усугубить климатические риски, такие как эрозия почв и изменения в режимах осадков.

Расширение городов также является характерной чертой трансформации земельного покрова Казахстана за последние два десятилетия. Анализ карт в таблицах 2 и 3 свидетельствует о росте урбанизированных территорий, особенно вокруг таких крупных городов, как Астана, Алматы и Шымкент. Экономическая модернизация и рост населения привели к увеличению спроса на жилье, транспортную инфраструктуру и промышленные зоны. Хотя урбанизация является неотъемлемой частью экономического развития, она создает ряд экологических и социальных проблем. Расширение городов приводит к сокращению сельскохозяйственных и природных земель, что может повысить зависимость от продовольственного импорта. Кроме того, урбанистическое развитие сопровождается ростом энергопотребления, загрязнением воздуха и увеличением нагрузки на водные ресурсы. Например, в Алматы не секрет что наблюдаются серьёзные проблемы с качеством воздуха, вызванные автомобильными выбросами и промышленной деятельностью. Для обеспечения устойчивого роста городов необходимо внедрять меры по экологически чистому градостроительству, энергоэффективной инфраструктуре и мониторингу качества окружающей среды.

Одним из тревожных трендов является усиление процессов опустынивания, особенно в западных и южных регионах страны. На картах 2020 года отмечается сокращение растительного покрова, что свидетельствует о деградации почв и снижении их продуктивности. Увеличение площади малозаселённых или почти полностью лишённых растительности земель может быть связано с продолжительными засухами, чрезмерной эксплуатацией земельных ресурсов и изменениями климата. Опустынивание представляет собой серьёзную угрозу для сельского хозяйства Казахстана, так как ведёт к падению урожайности, сокращению пастбищ и ухудшению способности почв удерживать влагу. Экологическая катастрофа Аральского моря служит наглядным примером того, к каким необратимым последствиям может привести неконтролируемое ухудшение природных условий. Для предотвращения дальнейшей деградации земель необходимо развивать программы восстановления почв, внедрять устойчивые методы ведения сельского хозяйства и улучшать управление водными ресурсами с применением инновационных методов орошения.

Изменения в земельном покрове Казахстана в период с 2001 по 2020 год демонстрируют как возможности, так и вызовы для устойчивого развития. С одной стороны, расширение сельскохозяйственных земель и рост городов способствуют экономическому развитию, но, с другой стороны, сокращение лесных массивов, деградация земель и усиление климатических рисков вызывают серьёзную обеспокоенность. Решение этих проблем требует комплексного подхода, который учитывает баланс между экономическим ростом и охраной окружающей среды. Среди ключевых направлений государственной политики можно выделить внедрение устойчивого землепользования, развитие лесовосстановительных программ и мер по предотвращению пожаров, поддержку экологически чистого городского развития, меры по борьбе с опустыниванием, а также исследования и адаптационные стратегии для смягчения последствий изменения климата. Казахстану важно использовать передовые научные подходы, включая технологии дистанционного зондирования и междисциплинарные методы анализа, для более глубокого понимания динамики земельного покрова. Интеграция научных данных в процесс разработки политических решений позволит стране достичь оптимального баланса между экономическим развитием и экологической устойчивостью.

Распределение изменений углерода за исследуемый период демонстрирует значительную концентрацию наблюдаемых изменений вокруг нулевого значения, что указывает на преобладание относительно стабильных участков (График 1). Гистограмма, построенная на основе переменной изменение углерода (*carbonchangeobserved*), отражает структуру этих изменений, показывая, что большая часть значений сосредоточена вблизи нуля, а экстремальные изменения (как положительные, так и отрицательные) встречаются реже.

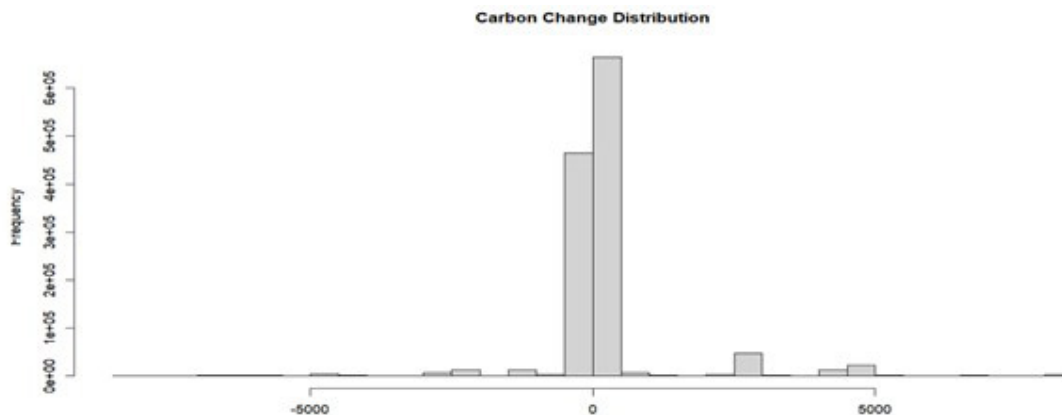
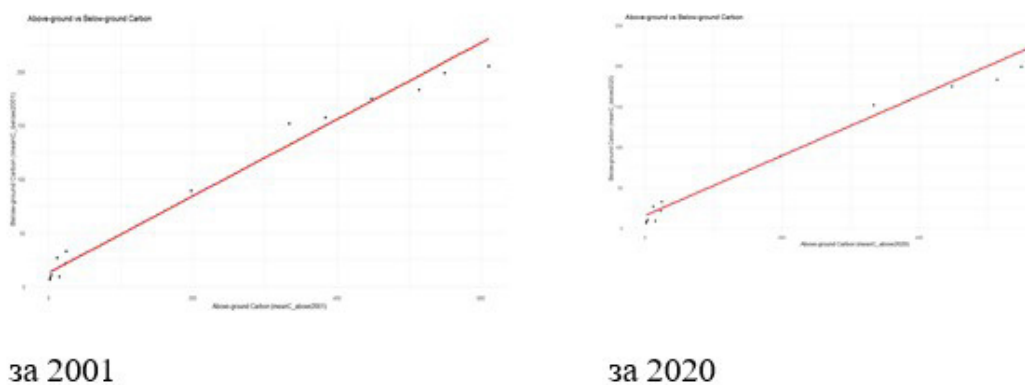


График 1 – Гистограмма распределения изменения углерода в Казахстане
Примечание – построено авторами на основе данных MODIS, используя программное обеспечение R

Такое распределение свидетельствует о том, что в значительной части исследуемой территории баланс углерода остался неизменным или претерпел лишь незначительные колебания. Однако наличие небольшого числа участков с резкими изменениями может указывать на локальные процессы деградации или восстановления углеродных запасов. Эти изменения могут быть связаны с изменением землепользования, такими как распашка целинных земель, расширение пастбищ, лесовосстановление или утрата растительности вследствие антропогенных или климатических факторов.

На графике 2 построена *корреляция между углеродом*, накопленный в наземных экосистемах (*горизонтальная ось*) и углеродом, накопленный в почве (*вертикальная ось*) в Казахстане за 2001 и 2020 год, следовательно. В 2001 году количество углерода, поглощенного ниже поверхности земли, было значительно выше, чем в 2020 году. Это свидетельствует о снижении способности почвы накапливать углерод, что может быть связано с изменениями в землепользовании, деградацией почв или иными экологическими факторами.



за 2001

за 2020

График 2 – Корреляция углерода над землей (горизонтальная ось) и под землей (вертикальная ось) в Казахстане за 2001 и 2020 годы

Примечание - построено автоами на основе данных MODIS используя программное обеспечение R

Экономическая динамика земельных ресурсов Казахстана

Анализ распределения данных важен для оценки долгосрочных тенденций углеродного баланса и их влияния на экосистемные функции. Наличие устойчивых углеродных запасов указывает на стабильность почв и растительности, в то время как резкие изменения могут сигнализировать о нарушениях в экосистеме, таких как опустынивание, эрозия почв или активное накопление биомассы в результате

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ пространственного распределения углеродного баланса и экономической стоимости земельных ресурсов Казахстана за период 2001–2020 годов выявил важные тенденции, отражающие как природные, так и антропогенные процессы. Устойчивые углеродные запасы свидетельствуют о стабильности экосистем, тогда как резкие изменения сигнализируют о возможных нарушениях, включая деградацию земель, эрозию почв и последствия климатических изменений.

Результаты исследования демонстрируют различную динамику экономической стоимости восстановленных и невозстановленных земель. Для невозстановленных территорий зафиксирован умеренный рост экономической стоимости — с 11258 тыс. долларов США в 2001 году до 13898 тыс. долларов в 2020 году. Это может быть связано с рыночными факторами и минимальным улучшением использования земель. Восстановленные территории, напротив, испытали значительное снижение стоимости: с 72380 тыс. долларов в 2001 году до 16752 тыс. долларов в 2020 году. Такой спад может объясняться изменением землепользования, истощением природных ресурсов и снижением рыночного спроса.

Региональный анализ показал, что в Алматы наблюдается положительная динамика, тогда как в Восточно-Казахстанской и Мангистауской областях зафиксировано снижение экономической стоимости земель, особенно выраженное в последней. Это указывает на необходимость проведения дополнительных исследований для выявления факторов, влияющих на экономическую деградацию земель, и разработки стратегий устойчивого управления земельными ресурсами.

Таким образом, полученные результаты подтверждают необходимость комплексного подхода к управлению земельными ресурсами, включающего как природоохранные мероприятия, так и экономические стимулы. Разработка эффективных стратегий землепользования, направленных на восстановление и сохранение земельных ресурсов, может способствовать не только улучшению углеродного баланса, но и повышению их экономической ценности в долгосрочной перспективе.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Nachtergaele F., van Velthuisen H., Verelst L., Batjes N. H., Dijkshoorn K., van Engelen V. W. P., Fischer G., Jones A., Montanarella L. The Harmonized World Soil Database // *Proceedings of the 19th World Congress of Soil Science, Soil Solutions for a Changing World*, Brisbane, Australia, 1–6 August 2010 / ред. R. J. Gilkes, N. Prakongkep. – International Union of Soil Sciences, 2010. – С. 34–37. – URL: <https://edepot.wur.nl/154132>
2. Nkonya E., Gerber N., von Braun J., De Pinto A. Economics of land degradation: The costs of action versus inaction. – Issue Briefs 68. – International Food Policy Research Institute (IFPRI), 2011.
3. von Braun J., Gerber N., Mirzabaev A., Nkonya E. The economics of land degradation. – ZEF Working Paper № 109. – SSRN, 2013. – DOI: <https://doi.org/10.2139/ssrn.2237977>
4. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). The state of the world's land and water resources for food and agriculture (SOLAW) – Managing systems at risk. – Earthscan, 2011. – ISBN 978-92-5-106614-0.
5. Lal R. Soil degradation by erosion // *Land Degradation & Development*. – 2001. – Т. 12, № 6. – С. 519–539. – DOI: <https://doi.org/10.1002/ldr.472>
6. Montanarella L., Pennock D. J., McKenzie N., Badraoui M., Chude V., Baptista I., и др. World's soils are under threat // *SOIL*. – 2016. – Т. 2. – С. 79–82. – DOI: <https://doi.org/10.5194/soil-2-79-2016>
7. Mueller L., Schindler U., Fodor N., и др. Impacts of land use change on soil health and ecosystem services in dynamic landscapes: Towards sustainable land management in Europe // *Environmental Earth Sciences*. – 2010. – Т. 69, № 2. – С. 241–255. – DOI: <https://doi.org/10.1007/s12665-009-0391-4>
8. Nachtergaele F. O., Licona-Manzur C. The Land Degradation Assessment in Drylands Project (LADA): Experiences with a global approach to assess land degradation // *Land Use Policy*. – 2008. – Т. 25, № 4. – С. 652–658. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2008.06.004>
9. Oldeman L. R., Hakkeling R. T. A., Sombroek W. G. World Map of the Status of Human-Induced Soil Degradation: An Explanatory Note (GLASOD). – ISRIC – World Soil Information, 1991.

10. Scherr S. J., Yadav S. Land degradation in the developing world: Implications for food, agriculture, and the environment to 2020. – International Food Policy Research Institute (IFPRI), 1996. – URL: <https://www.ifpri.org/publication/land-degradation-developing-world-implications-food-agriculture-and-environment-2020> (дата обращения: 30.01.2025).
11. The Land Processes Distributed Active Archive Center (LPDAAC). LPDAAC search page. – URL: <https://lpdaac.usgs.gov/search/?query=ndvi&keyword=Land+Cover&view=cards&sort=relevance> (дата обращения: 30.01.2025).
12. Fensholt R., Rasmussen K., Kaspersen P., Huber S., Horion S., Swinnen E. Assessing land degradation/recovery in the African Sahel from long-term Earth observation based primary productivity and precipitation relationships // *Remote Sensing*. – 2013. – Т. 5, № 2. – С. 664–686. – DOI: <https://doi.org/10.3390/rs5020664>
13. De Jong R., Verbesselt J., Schaepman M. E., de Bruin S. Trend changes in global greening and browning: Contribution of short-term trends to longer-term change // *Global Change Biology*. – 2011. – Т. 17. – С. 642–655.
14. Le Q. B., Nkonya E., Mirzabaev A. Biomass productivity-based mapping of global land degradation hotspots // *Economics of Land Degradation and Improvement – A Global Assessment for Sustainable Development* / ред. E. Nkonya, A. Mirzabaev, J. von Braun. – Springer, 2014. – С. 55–84. – DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-19168-3_4
15. Aitekeyeva N., Li X., Guo H., Wu W., Shirazi Z., Ilyas S., Yegizbayeva A., Hategekimana Y. Drought risk assessment in cultivated areas of Central Asia using MODIS time-series data // *Water*. – 2020. – Т. 12, № 6. – № статьи 1738. – DOI: <https://doi.org/10.3390/w12061738>
16. Abdourahamane Z. S., Garba I., Mirzabaev A. Dataset of a composite drought index based on remote sensing data for Niger (Version 6) [Электронный ресурс]. – Mendeley Data, 2022. – DOI: <https://doi.org/10.17632/47ydz8v6nd.6>

REFERENCES

1. Nachtergaele, F., van Velthuisen, H., Verelst, L., Batjes, N. H., Dijkshoorn, K., van Engelen, V. W. P., Fischer, G., Jones, A., & Montanarella, L. (2010). The Harmonized World Soil Database. B R. J. Gilkes & N. Prakongkep (Eds.), *Proceedings of the 19th World Congress of Soil Science, Soil Solutions for a Changing World*, Brisbane, Australia, 1–6 August 2010 (стр. 34–37). International Union of Soil Sciences. <https://edepot.wur.nl/154132>
2. Nkonya, E., Gerber, N., von Braun, J., & De Pinto, A. (2011). Economics of land degradation: The costs of action versus inaction (Issue Briefs 68). International Food Policy Research Institute (IFPRI).
3. von Braun, J., Gerber, N., Mirzabaev, A., & Nkonya, E. (2013). The economics of land degradation (ZEF Working Paper No. 109). SSRN. <https://doi.org/10.2139/ssrn.2237977>
4. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2011). The state of the world's land and water resources for food and agriculture (SOLAW) – Managing systems at risk. Earthscan. ISBN 978-92-5-106614-0.
5. Lal, R. (2001). Soil degradation by erosion. *Land Degradation & Development*, 12(6), 519–539. <https://doi.org/10.1002/ldr.472>
6. Montanarella, L., Pennock, D. J., McKenzie, N., Badraoui, M., Chude, V., Baptista, I., ... Vargas, R. (2016). World's soils are under threat. *SOIL*, 2, 79–82. <https://doi.org/10.5194/soil-2-79-2016>
7. Mueller, L., Schindler, U., Fodor, N., et al. (2010). Impacts of land use change on soil health and ecosystem services in dynamic landscapes: Towards sustainable land management in Europe. *Environmental Earth Sciences*, 69(2), 241–255. <https://doi.org/10.1007/s12665-009-0391-4>
8. Nachtergaele, F. O., & Licona-Manzur, C. (2008). The Land Degradation Assessment in Drylands Project (LADA): Experiences with a global approach to assess land degradation. *Land Use Policy*, 25(4), 652–658. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2008.06.004>
9. Oldeman, L. R., Hakkeling, R. T. A., & Sombroek, W. G. (1991). World Map of the Status of Human-Induced Soil Degradation: An Explanatory Note (GLASOD). ISRIC – World Soil Information.

10. Scherr, S. J., & Yadav, S. (1996). Land degradation in the developing world: Implications for food, agriculture, and the environment to 2020. International Food Policy Research Institute (IFPRI). Retrieved January 30, 2025, from <https://www.ifpri.org/publication/land-degradation-developing-world-implications-food-agriculture-and-environment-2020>
11. The Land Processes Distributed Active Archive Center (LPDAAC). (n.d.). LPDAAC search page. Retrieved January 30, 2025, from <https://lpdaac.usgs.gov/search/?query=ndvi&keyword=Land+Cover&view=cards&sort=relevance>
12. Fensholt, R., Rasmussen, K., Kaspersen, P., Huber, S., Horion, S., & Swinnen, E. (2013). Assessing land degradation/recovery in the African Sahel from long-term Earth observation based primary productivity and precipitation relationships. *Remote Sensing*, 5(2), 664–686. <https://doi.org/10.3390/rs5020664>
13. De Jong, R., Verbesselt, J., Schaepman, M. E., & de Bruin, S. (2011). Trend changes in global greening and browning: Contribution of short-term trends to longer-term change. *Global Change Biology*, 17, 642–655.
14. Le, Q. B., Nkonya, E., & Mirzabaev, A. (2014). Biomass productivity-based mapping of global land degradation hotspots. B. E. Nkonya, A. Mirzabaev, & J. von Braun (Eds.), *Economics of Land Degradation and Improvement – A Global Assessment for Sustainable Development* (стр. 55–84). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-19168-3_4
15. Aitekeyeva, N., Li, X., Guo, H., Wu, W., Shirazi, Z., Ilyas, S., Yegizbayeva, A., & Hategekimana, Y. (2020). Drought risk assessment in cultivated areas of Central Asia using MODIS time-series data. *Water*, 12(6), 1738. <https://doi.org/10.3390/w12061738>
16. Abdourahamane, Z. S., Garba, I., & Mirzabaev, A. (2022). Dataset of a composite drought index based on remote sensing data for Niger (Version 6) [Data set]. Mendeley Data. <https://doi.org/10.17632/47ydz8v6nd.6>

ANALYSIS OF THE CARBON BALANCE AND ECONOMIC VALUE OF LAND IN KAZAKHSTAN: DYNAMICS AND MANAGEMENT PROSPECTS

Y. S. Oskenbayev¹, M. M. Issabayev¹

¹Narxoz University, Almaty, Republic of Kazakhstan

ABSTRACT

The *purpose* of this study is to assess land degradation in Kazakhstan for the years 2001 and 2020, analyze its economic consequences, identify critical zones, and priority investment areas for successful restoration.

Methodology. This study utilizes MODIS satellite remote sensing data to monitor land cover and land use, track vegetation changes, measure biodiversity, and analyze ecological parameters. Correlation analysis and data visualization were conducted using the R programming software.

Originality / Value of the research. This study contributes to the scientific literature on land degradation assessment in Kazakhstan by utilizing time-series MODIS data to analyze land cover changes, enabling accurate and consistent monitoring. The research has practical value for decision-making and the development of sustainable land management strategies in Kazakhstan.

Findings. The results indicate a moderate increase in the economic value of non-restored areas in Kazakhstan, whereas restored areas have experienced a significant decline in value. A comparable regional analysis reveals positive economic dynamics in some regions while showing a decline in others. These findings highlight the need for further research and the development of effective land-use strategies aimed at improving the carbon balance and enhancing the long-term economic value of Kazakhstan's land resources.

Keywords: Land degradation, climate change, crop and livestock productivity, agricultural incomes, global warming, MODIS

Acknowledgment. The article was published as part of a project funded by a grant from the Science Committee of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan for

2024-2026 on the topic IRN: AP23488084 "Addressing Land Degradation and Economic Opportunities in Kazakhstan: Integrating Choice Experiments for Sustainable Eco-Intensive Transformation"

ҚАЗАҚСТАНДАҒЫ ЖЕРЛЕРДІҢ КӨМІРТЕГІ БАЛАНСЫ МЕН ЭКОНОМИКАЛЫҚ ҚҰНДЫЛЫҒЫН ТАЛДАУ: ДИНАМИКАСЫ ЖӘНЕ БАСҚАРУ ПЕРСПЕКТИВАЛАРЫ

Е. С. Оскенбаев¹, М. М. Исабаев¹

¹Нархоз Университеті, Алматы, Қазақстан Республикасы

АНДАТПА

Зерттеудің мақсаты – 2001 және 2020 жылдарға арналған Қазақстандағы жердің тозуын бағалау, экономикалық зардаптарды талдау, сыни аймақтарды анықтау және табысты қалпына келтіру үшін инвестицияның басым бағыттарын анықтау.

Зерттеу әдіснамасы – Зерттеу жер жамылғысы мен жерді пайдалануды бақылау, өсімдіктердің өзгеруін бақылау, биоәртүрлілікті өлшеу және қоршаған орта параметрлерін талдау үшін MODIS қашықтықтан зондтау спутниктік деректерін пайдаланады. R бағдарламалық құралын пайдалану арқылы корреляциялық талдау және деректерді визуализациялау жүргізілді.

Зерттеудің бірегейлігі / құндылығы – Мақалада жер жамылғысының өзгерістерін талдау үшін MODIS уақытша деректерін пайдалана отырып, өзгерістерді дәл және жүйелі түрде бақылауға мүмкіндік беретін Қазақстандағы жердің тозуын бағалау бойынша ғылыми әдебиеттерге үлес қосады. Зерттеудің шешім қабылдау және Қазақстанда жерді басқарудың тұрақты стратегияларын құру үшін практикалық маңызы бар.

Зерттеу нәтижелері – Зерттеу нәтижелері Қазақстанның қалпына келтірілмеген аумақтары үшін экономикалық құндылықтың қалыпты өсуін көрсетеді, ал қалпына келтірілген аумақтар, керісінше, құндылықтың айтарлықтай төмендеуін бастан кешірді. Салыстырмалы аймақтық талдау кейбір аудандарда жердің экономикалық құндылығының оң динамикасын, ал басқаларында төмендегенін көрсетеді. Нәтижелер ұзақ мерзімді перспективада Қазақстан жерінің көміртегі балансын жақсартуға және экономикалық құндылығын арттыруға бағытталған жерді пайдаланудың тиімді стратегияларын әзірлеу және қосымша зерттеулер жүргізу қажеттілігін көрсетеді.

Түйін сөздер: жердің тозуы, климаттың өзгеруі, егін және мал шаруашылығының өнімділігі, ауылшаруашылық табысы, жаһандық жылыну, MODIS

Алғыс. Мақала Қазақстан Республикасының Ғылым және жоғары білім министрлігі Ғылым комитетінің 2024-2026 жылдарға арналған ИРН: AP23488084 «Қазақстандағы жердің тозуын және экономикалық мүмкіндіктерін зерттеу: тұрақты эко-интенсивті трансформация үшін таңдау эксперименттерінің интеграциясына негізделген» тақырыбы бойынша гранттық қаржыландыру есебінен жүзеге асырылып жатқан жоба аясында жарияланды.

ОБ АВТОРАХ

Оскенбаев Есенгали Сайлаубекович – PhD, Ассоциированный профессор, Университет Нархоз, Алматы, Республика Казахстан, email: yessengali.oskenbayev@narхоз.kz , ORCID ID: 0000-0001-5021-1883

Исабаев Мурат Маратович – PhD, Ассоциированный профессор, Университет Нархоз, Алматы, Республика Казахстан, email: murat.isabayev@narхоз.kz , ORCID ID: 0000-0001-8608-488X