

DOI: 10.32347/2076-815x.2023.84.132-144

УДК 528.88

Жень Лей,

Zhen_l@knuba.edu.ua, ORCID: 0000-0002-3985-0606,
Київський національний університет будівництва і архітектури

ОЦІНКА ЗМІН ЯКОСТІ НАВКОЛИШНЬОГО ПРИРОДНОГО СЕРЕДОВИЩА ЛЬВІВСЬКОЇ ОБЛАСТІ НА ОСНОВІ ЕКОЛОГІЧНИХ ІНДЕКСІВ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ

Навколишнє природне середовище тісно пов'язано з повсякденним життям людини. З прискоренням індустріалізації та урбанізації різні види людської діяльності спричинили значний вплив на довкілля. Своєчасна і точна оцінка просторово-часових змін якості навколишнього природного середовища може допомогти людям, які приймають рішення, зрозуміти поточний стан екології в регіоні. Екологічна оцінка має велике значення для раціонального розвитку екологічної політики та охорони довкілля і стала пріоритетним напрямком досліджень в галузі екології. Територією дослідження є Львівська область, важливий регіон Західної України. В дослідженні екологічного стану Львівської області використано екологічний індекс дистанційного зондування Землі (RSEI), проведено оперативний моніторинг та оцінку якості довкілля області протягом 2015 - 2021 років в середовищі Google Earth Engine. Результати дослідження показують, що середні значення RSEI у 2015 та 2021 роках становлять 0,66 та 0,68 відповідно, що свідчить про поступове покращення екологічної ситуації. Це відображає низький вплив антропогенної діяльності на погіршення екологічного стану довкілля в регіоні в останні роки. Це дослідження надає методологічну базу для оцінки якості екологічного середовища у Львівській області, що є цінним для раціонального планування місцевих екологічних та природоохоронних стратегій і політик для сталого економічного розвитку.

Ключові слова : Дистанційне зондування; навколишнє природне середовище; Google Earth Engine; екологічний індекс дистанційного зондування; хмарні обчислення; земельні ресурси.

Постановка проблеми та актуальність. В останні роки, в умовах стрімкого глобального соціально-економічного розвитку та масового зростання населення, різні види господарської діяльності людини завдали великої шкоди глобальним екосистемам і привернули до себе широку увагу, такі як екологічна деградація [1], зменшення біорізноманіття [2], ерозія ґрунтів [3], проблеми з

водними ресурсами [4] та екстремальні кліматичні явища [5]. Швидкий і точний моніторинг змін екологічного стану довкілля та виявлення їхніх тенденцій мають велике значення для захисту екосистем і вироблення обґрунтованої політики розвитку та охорони довкілля [1-7].

Розвиток технології дистанційного зондування розширив можливості людини розуміти зміни в екологічному середовищі. У порівнянні з традиційними польовими спостереженнями, технологія дистанційного зондування широко використовується в сфері моніторингу навколишнього природного середовища з перевагами швидкого моніторингу в режимі реального часу, може здійснювати широкомасштабний моніторинг і надає велику кількість даних [8,9]. На основі цих даних дистанційного зондування дослідники розробили різноманітні індекси дистанційного зондування для оцінки довкілля на регіональному рівні. Наприклад, нормалізований диференційний вегетаційний індекс (NDVI), який може ефективно відображати стан рослинності, є одним з найпопулярніших індексів, що використовуються для оцінки росту рослинності [10], Dutrieux та ін. розробили алгоритм використання NDVI, згенерованого на основі супутникових даних, для моніторингу змін лісового покриву [11]. Розширений вегетаційний індекс (EVI- The enhanced vegetation index), який є вдосконалим вегетаційним індексом, добре працює в лісових районах. Vijith та ін. виявили, що EVI дуже корисний для виявлення змін у лісовому покриві шляхом аналізу даних супутниковим знімків MODIS про земний покрив річкових басейнів у досліджуваній області [12]. Модифікований перпендикулярний індекс посухи (MPDI- Modified perpendicular drought index) характеризує вміст вологи в ґрунті. Дослідження Ghulam та ін. з використанням супутникових даних MODIS для моніторингу посухи в реальному часі показали, що цей індекс краще відображає умови посухи в рослинних районах [13]. Індекс температури поверхні землі (LST- Land surface temperature) відповідно характеризує температуру. Kayet та ін. проаналізували значення LST для п'яти різних регіонів Індії, використовуючи дані Landsat, і результати дослідження показали, що зменшення площі рослинності призводить до підвищення температури поверхні [14].

Аналіз останніх публікацій. Більшість методів дослідження оцінюють екологічне середовище лише за допомогою одного індексу дистанційного зондування, який може лише односторонньо пояснити певний аспект екологічних характеристик, а екосистема є складною, динамічною, довготривалою та мінливою в часі системою, тому необхідно встановити комплексний індекс для швидкого та всебічного вимірювання екосистеми. Науковцями Xu та ін. на основі чотирьох індикаторів (зелені, вологості, сухості та тепла- Greenness, Wetness, Dryness, and Heat) було сформовано екологічний

індекс (RSEI), який повністю базується на даних дистанційного зондування, і застосовано для оцінки екологічних умов у місті Фучжоу, Китай. Результати показали, що RSEI може ефективно виявляти зміни якості довкілля на регіональному рівні. Після цього RSEI був широко застосований у кількох регіонах для вивчення інтегрованого екологічного стану регіону [15]. Однак синтез індексів збільшує кількість етапів обробки даних, що потребує багато часу. Google Earth Engine (GEE) як хмарна платформа для обробки даних дистанційного зондування, інтегрує широкий спектр загальнодоступних наборів даних дистанційного зондування, які можуть бути використані для візуалізації та аналізу геопросторових даних. Наразі онлайн доступні понад 600 наборів геопросторових даних, які оновлюються майже в реальному часі [16,17,18]. Користувачі можуть розробляти та тестувати власні алгоритми, увійшовши на платформу GEE безпосередньо через браузер, без необхідності завантажувати зображення дистанційного зондування на локальний комп'ютер для обробки, що значно підвищує ефективність обробки та аналізу геопросторових даних і широко використовується в різних галузях [19-22].

Формулювання цілей статті (постановка завдання). Львівська область є важливим економічним та культурним центром Західної України, з багатими природними та людськими ресурсами, розвиненою промисловістю та сільським господарством, а також важливим транспортним вузлом, що з'єднує Україну з Європейським Союзом. Збалансування соціально-економічного розвитку та охорони навколишнього природного середовища поступово стає важливим питанням для області, тому необхідно проводити моніторинг довкілля. Метою цієї статті є дослідження якості навколишнього природного середовища Львівської області шляхом розрахунку індексу RSEI за 2015, 2021 роки на платформі GEE та аналізу отриманих результатів.

Матеріали та методи. У цьому дослідженні використано дані супутника Landsat 8 OLI/TIRS та дані приземної температури MODIS за 2015 та 2021 роки як вхідні дані для GEE [23, 24]. Для того, щоб нівелювати вплив сезонних коливань на результати обробки даних, часовий діапазон даних охоплював період з червня по жовтень. Цей період є основним періодом росту рослинності.

Індекс RESI. RESI - це комплексний індекс, який формується шляхом агрегування чотирьох індикаторів (складових) для визначення екологічної якості регіону, а саме: зелені, вологості, сухості та тепла, і може бути розрахований за допомогою даних дистанційного зондування і визначається функцією, яка залежить відповідно зазначених вище чотирьох складових:

$$RSEI = f(Greenness, Wetness, Dryness, Heat) \quad (1)$$

У цьому рівнянні зеленість представлена індексом NDVI, який є загальнозживаним індексом для вимірювання стану рослинності. Вологість представлена індексом вологості ґрунту Wet [25], а для того, щоб зробити Wet репрезентативним для вологості, також використовується модифікований диференційований нормалізований водний індекс (MNDWI) для виділення водних об'єктів на досліджуваній території [26]. Сухість представлена індексом (NDBSI - нормалізованим диференційним індексом забудови та ґрунту- Normalized Difference Built-up and Soil Index) [27], який є композитом індексу забудови (IBI- Index-based Built-up Index), що представляє забудовану територію, та індексу ґрунту (SI- Soil Index), що представляє голу поверхню ґрунту - індексу ґрунту. Тепло представлено індексом LST, який відображає температуру поверхні, використовуючи дані з продукту MODIS про температуру поверхні. Формули для вищезазначених індексів подано нижче[21]:

$$NDVI = \frac{B_{nir} - B_{red}}{B_{nir} + B_{red}} \quad (2)$$

$$WET = \beta_1 B_{blue} + \beta_2 B_{green} + \beta_3 B_{red} + \beta_4 B_{nir} + \beta_5 B_{swir1} + \beta_6 B_{swir2} \quad (3)$$

$$NDSI = \frac{IBI + SI}{2} \quad (4)$$

$$mNDWI = \frac{B_{green} - B_{swir1}}{B_{green} + B_{swir1}} \quad (5)$$

$$LST = \frac{LST_{Day} + LST_{night}}{2} \quad (6)$$

де B_{nir} , B_{red} , B_{blue} , B_{green} , B_{red} , B_{swir} -представляють діапазони Landsat 8 OLI/TIRS.

β_i - є параметрами смуг Landsat 8 OLI/TIRS.

LST_{Day} , LST_{night} -добовий діапазон даних про приземну температуру в продукті приземної температури MODIS.

Тепло виражається як індекс LST, що представляє температуру поверхні. У цьому дослідженні дані LST були взяті з технічного паспорту продукту MODIS "Температура поверхні".

Після отримання чотирьох індексів дистанційного зондування для обробки та генерування RSEI було використано метод Аналіз Головних Компонент (PCA), Метод видаляє надлишкові дані, зберігає ключову інформацію про особливості та уникає впливу людського суб'єктивного фактору на результати [29].

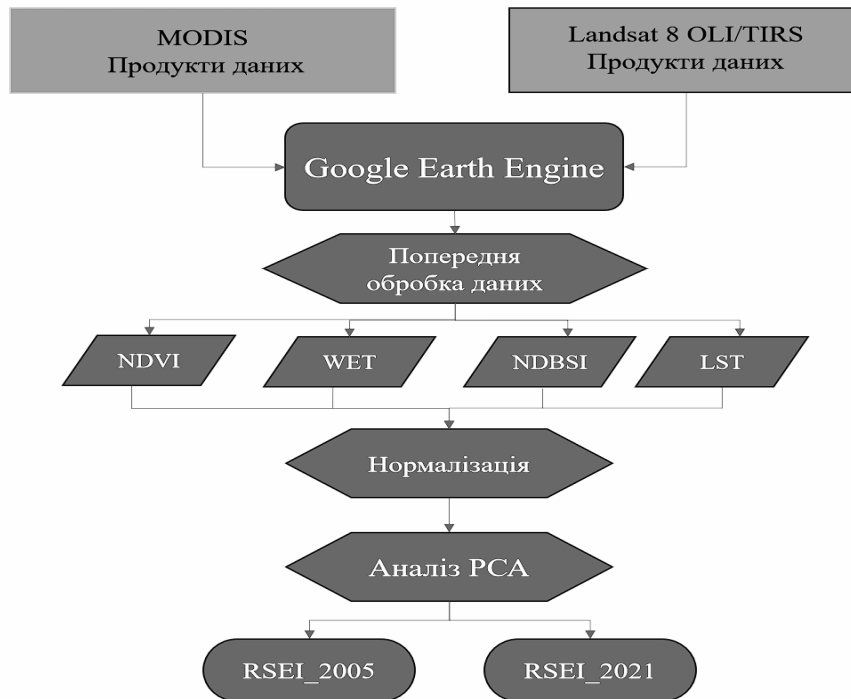


Рис. 1. Технічний робочий процес

Оскільки одиниці вимірювання чотирьох індексів не є однаковими, необхідно нормалізувати ці індекси перед обчисленням RSEI за методом PCA, і аналогічно було нормалізовано RSEI. Після нормалізації значення RSEI знаходиться в межах $[0,1]$, і чим ближче значення RSEI до 1, тим краща якість навколишнього природного середовища. Для того, щоб зручно представити зміни RSEI, було класифіковано RSEI за п'ятьма рівнями, як показано в Табл. 1.

Таблиця 1

Стандарт класифікації RSEI

Рівень	Поганий	Незадовільний	Середній	Добрий	Відмінний
Цінність	0-0.2	0.2-0.4	0.4-0.6	0.6-0.8	0.8-1

Кількісна характеристика RSEI. Загальні середні значення RSEI для 2015 та 2021 років оцінюються на рівні 0,66 та 0,68 відповідно, що відповідає категорії добрий рівень та має тенденцію до зростання. У 2005 та 2019 роках території з добрим рівнем становили близько половини досліджуваної території. У 2005 і 2019 роках території з поганим рівнем становили найнижчий відсоток досліджуваної території. Території з добрим і відмінним рівнем розширилися у 2019 році порівняно з 2005 роком. Найбільша різниця спостерігається в регіоні з добрим рівнем, який збільшився приблизно на 5,4% між 2005 і 2019 роками. На противагу цьому, площа регіонів з помірним рівнем у 2019 році зменшилася приблизно на 4,9%. Загальний рівень якості довкілля на досліджуваній

території покращився за останні шість років, зі значним збільшенням частки території з добрим рівнем (табл. 2 і рис. 2).

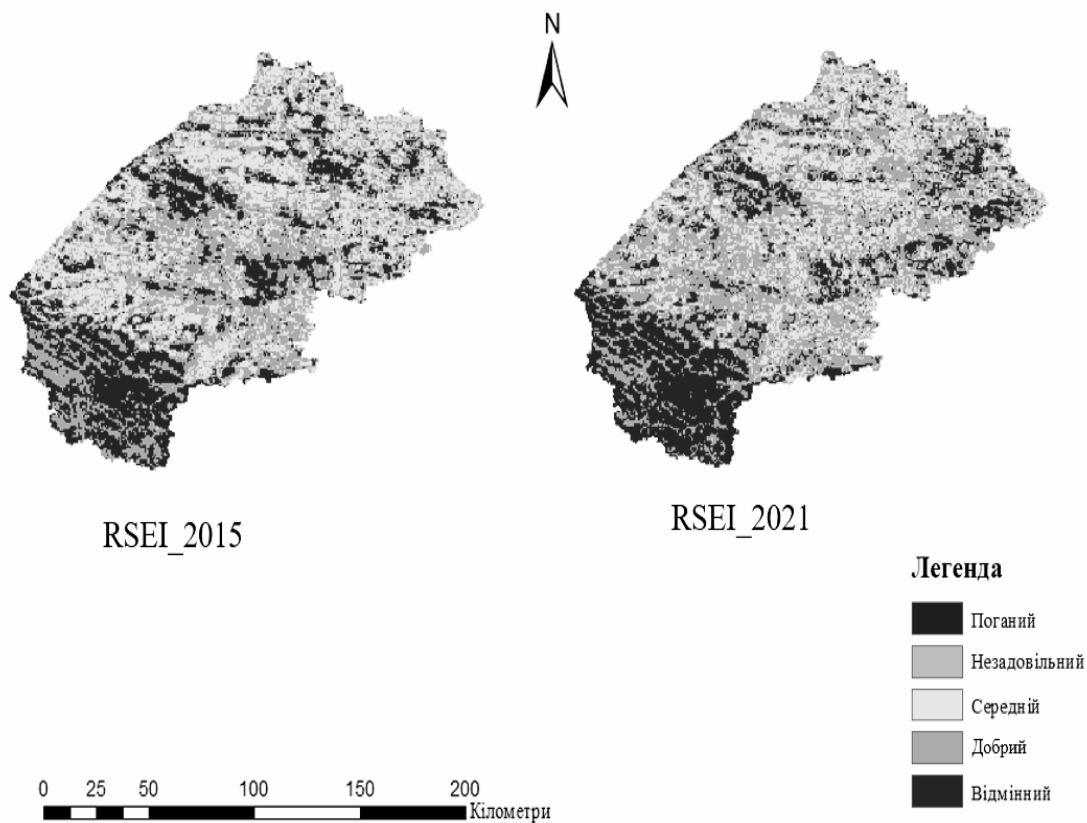


Рис. 2. Просторовий розподіл RSEI

Таблиця 2.

Частка площі на кожному рівні RSEI

Рівень	2015	2019
	Пропорція площі(%)	Відсотки (%)
Поганий	0.4	0.4
Незадовільний	5.2	3.7
Середній	28.9	24
Добре	40.6	46
Відмінний	24.9	25.9

Просторова варіація RSEI між часовими періодами. З 2005 по 2019 рік частка покращених територій RSEI становила 22,9%. Серед них переважає незначне покращення, що становить 22,5% від загальної площі, а співвідношення площ слабо деградованих та помірно деградованих територій становить 15,2% та 0,1% відповідно. Співвідношення площ територій, на яких значення RSEI не змінилося між 2005 та 2019 роками, становить 61,8%.

Просторово, східна та західна частини досліджуваної території в основному показали покращення якості навколишнього природного середовища, північно-західна та південна частини залишилися практично незмінними, а погіршення якості довкілля в основному було зосереджено в північній та центральній частинах досліджуваної території. В цілому, екологічна ситуація покращилася, причому на більшій кількості територій спостерігається покращення якості довкілля, ніж погіршення (табл. 3 і рис. 3).

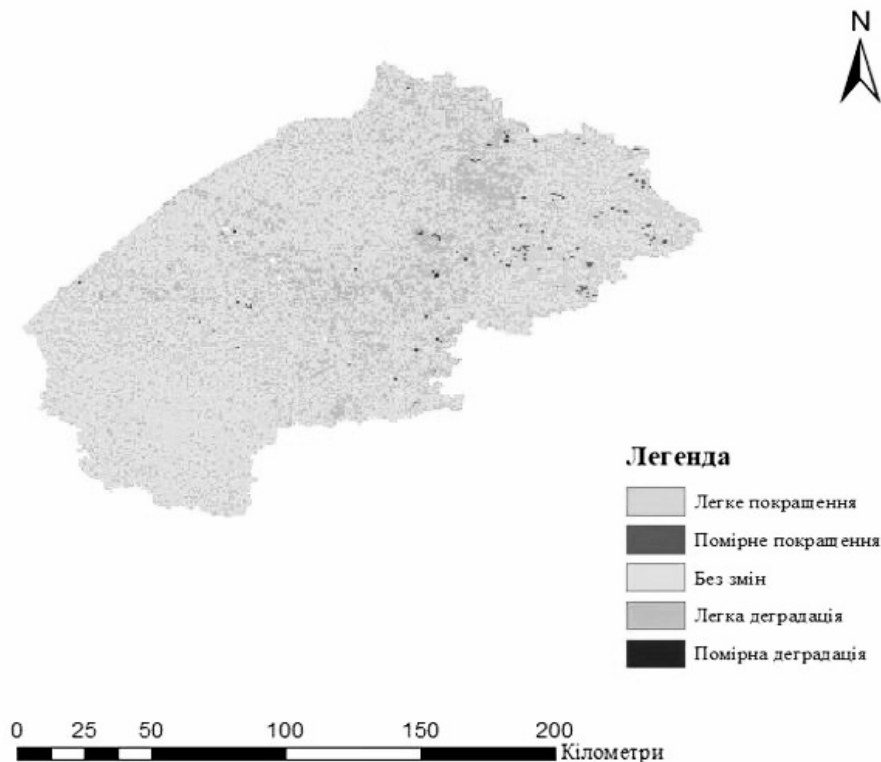


Рис. 3. Просторовий розподіл різниці оцінок RSEI

Таблиця 3.

Статистичні результати зміни рівня RSEI

Класифікація	Зміна класу	2015-2021	
		Відсоток(%)	Частка кожної класифікації(%)
Краще	Легке покращення	22.5	22.9
	Помірне покращення	0.4	
Без змін		61.8	
Гірше	Легка деградація	15.2	15.3
	Помірна деградація	0.1	

ВИСНОВКИ

Процес зміни екосистем є динамічним і складним, композитний індекс RSEI базується на чотирьох індикаторах, розраховується лише за даними дистанційного зондування, є простим у розрахунку без будь-яких штучно встановлених вагових коефіцієнтів чи порогових значень, забезпечуючи об'єктивний, швидкий та простий метод оцінки змін якості екологічного стану довкілля. У цій роботі було розраховано RSEI Львівської області за 2015 та 2021 роки з використанням хмарної платформи GEE, яка значно підвищує ефективність обробки зображень дистанційного зондування та зменшує використання локальних обчислювальних ресурсів порівняно з традиційними методами. Результати дослідження показують, що індекс RSEI Львівської області має тенденцію до зростання і загалом перебуває на сприятливому рівні в період з 2015 по 2021 рік. Використання індексу RSEI забезпечує практичний та економічний спосіб швидкого та ефективного виявлення змін в екологічній оцінці якості регіону та надає оперативний орієнтир для виявлення змін в екології за допомогою інших методів.

ПОСИЛАННЯ

1. Solarin, S.A. and Bello, M.O. (2018) Persistence of policy shocks to an environmental degradation index: The case of ecological footprint in 128 developed and developing countries, *Ecological Indicators*, 89, pp. 35–44.
2. Raven, P.H., Wagner, D.L. (2021). Agricultural intensification and climate change are rapidly decreasing insect biodiversity. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 118(2),
3. Xin, Z., Ran, L. Lu, X. (2012) Soil erosion control and sediment load reduction in the Loess Plateau: Policy perspectives, *International Journal of Water Resources Development*, 28(2), pp. 325–341.
4. Acreman, M., Smith, A., Charters, L., Tickner, D., Opperman, J., Acreman, S., ... Chivava, F. (2021). Evidence for the effectiveness of nature-based solutions to water issues in Africa. *Environmental Research Letters*, 16(6).
5. Ummenhofer, C.C. Meehl, G.A. (2017) Extreme weather and climate events with ecological relevance: a review, *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 372(1723), p. 20160135.
6. Patrakeyev, I., Ziborov, V., & Lazorenko-Hevel, N. (2017). Methods of Evaluation of the State and Efficiency of the Urban Environment. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 4, 43-49.
7. Patrakeyev, I., Ziborov, V., & Lazorenko-Hevel, N. (2017). Determination of Anthropogenic Changes in Urbanized Territories Using GIS Technology. *GeoScience Engineering*, 63(1), 8.
8. Qiu, B., Chen, G., Tang, Z., Lu, D., Wang, Z., Chen, C. (2017). Assessing the Three-North Shelter Forest Program in China by a novel framework for characterizing vegetation changes. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 133, 75-88.
9. de Araujo Barbosa, C.C., Atkinson, P.M., Dearing, J.A. (2015). Remote sensing of ecosystem services: A systematic review. *Ecological Indicators*, 52, 430-443.

10. Huang, S., Tang, L., Hupy, J. P., Wang, Y., Shao, G. (2021). A commentary review on the use of normalized difference vegetation index (NDVI) in the era of popular remote sensing. *Journal of Forestry Research*, 32(1), 1-6.
11. Dutrieux, L.P., Verbesselt, J., Kooistra, L., Herold, M. (2015). Monitoring forest cover loss using multiple data streams, a case study of a tropical dry forest in Bolivia. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 107, 112-125.
12. Vijith, H., Dodge-Wan, D. (2020). Applicability of MODIS land cover and Enhanced Vegetation Index (EVI) for the assessment of spatial and temporal changes in strength of vegetation in tropical rainforest region of Borneo. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 18, 100311.
13. Ghulam, A., Qin, Q., Teyip, T., Li, Z. L. (2007). Modified perpendicular drought index (MPDI): a real-time drought monitoring method. *ISPRS journal of photogrammetry and remote sensing*, 62(2), 150-164.
14. Kayet, N., Pathak, K., Chakrabarty, A., Sahoo, S. (2016). Spatial impact of land use/land cover change on surface temperature distribution in Saranda Forest, Jharkhand. *Modeling earth systems and environment*, 2, 1-10.
15. Xu, H. Q. (2013). A remote sensing urban ecological index and its application. *Acta Ecol. Sin*, 33(24), 7853-7862.
16. Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D., Moore, R. (2017) Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone, *Remote Sensing of Environment*, 202, pp. 18–27.
17. Tamiminia, H., Salehi, B., Mahdianpari, M., Quackenbush, L., Adeli, S., Brisco, B. (2020) Google Earth Engine for geo-big data applications: A meta-analysis and systematic review, *Isprs Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 164, pp. 152–170.
18. Zhao, Q., Yu, L., Li, X., Peng, D., Zhang, Y., Gong, P. (2021) Progress and trends in the application of Google Earth and Google Earth Engine, *Remote Sensing*, 13(18), p. 3778.
19. Xu, H., Wang, M., Shi, T., Guan, H., Fang, C., & Lin, Z. (2018). Prediction of ecological effects of potential population and impervious surface increases using a remote sensing based ecological index (RSEI). *Ecological indicators*, 93, 730-740
20. Yue, H., Liu, Y., Li, Y., Lu, Y. (2019). Eco-environmental quality assessment in China's 35 major cities based on remote sensing ecological index. *Ieee Access*, 7, 51295-51311
21. Xiong, Y., Xu, W., Lu, N., Huang, S., Wu, C., Wang, L., ... Kou, W. (2021). Assessment of spatial-temporal changes of ecological environment quality based on RSEI and GEE: A case study in Erhai Lake Basin, Yunnan province, China. *Ecological Indicators*, 125, 107518
22. Zhang, Y., Jiang, F. (2022). Developing a remote sensing-based ecological index based on improved biophysical features. *Journal of Applied Remote Sensing*, 16(1), 012008-012008
23. USGS Landsat 8 Surface Reflectance Tier 1 [deprecated]. URL: https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/LANDSAT_LC08_C01_T1_SR (дата звернення: 30.07.2023)
24. MOD11A2.061 Terra Land Surface Temperature and Emissivity 8-Day Global 1km. URL: https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/MODIS_061_MOD11A2 (дата звернення: 30.07.2023)
25. Baig, M. H. A., Zhang, L., Shuai, T., Tong, Q. (2014) Derivation of a tasselled cap transformation based on Landsat 8 at-satellite reflectance, *Remote Sensing Letters*, 5(5), pp. 423–431.

26. Xu, H. (2005). A study on information extraction of water body with the modified normalized difference water index (MNDWI). *JOURNAL OF REMOTE SENSING-BEIJING-*, 9(5), 595
27. Li, Y., Tian, H., Zhang, J., Lu, S., Xie, Z., Shen, W., ... Qin, Y. (2023). Detection of spatiotemporal changes in ecological quality in the Chinese mainland: Trends and attributes. *Science of The Total Environment*, 884, 163791
28. Geng, J., Yu, K., Xie, Z., Zhao, G., Ai, J., Yang, L., ... Liu, J. (2022) "Analysis of spatiotemporal variation and drivers of ecological quality in Fuzhou based on RSEI," *Remote Sensing*, 14(19), p. 4900.
29. Gambardella, C., Parente, R., Ciambrone, A., & Casbarra, M. (2021). A principal components analysis-based method for the detection of cannabis plants using representation data by remote sensing. *Data*, 6(10), 108.
30. Ren, L., & Lazorenko-Hevel, N. (2020, December). The Status and Development Trends of Land Remote Sensing. In *International Conference of Young Professionals «GeoTerrace-2020»* (Vol. 2020, No. 1, pp. 1-5). European Association of Geoscientists & Engineers.

Phd student **Lei Ren**,
Kyiv National University of Construction and Architecture

ASSESSMENT OF CHANGES IN THE QUALITY OF THE ENVIRONMENT IN THE LVIV REGION ON THE BASIS OF ENVIRONMENTAL INDICES OF REMOTE SENSING

The ecological environment system is closely related to human daily life. With the acceleration of industrialization and urbanization, various human activities have brought great impacts on the local ecological environment. Timely and accurate evaluation of spatial and temporal changes in the quality of the ecological environment helps policy makers to understand the current status of the ecological environment in the region, and is of great significance for the rational development of ecological environmental protection and policies, which has become a research priority in the field of ecology. In this study, Lviv Oblast, an important region in western Ukraine, is taken as the study area, and the remote sensing ecological index remotely sensing ecological index (RSEI) of Lviv Oblast for 2015 and 2021 was constructed based on remote sensing technology, and the ecological quality of Lviv Oblast during six years was rapidly monitored and evaluated, and the results of the study show that the The average values of RSEI in 2015 and 2021 are 0.66 and 0.68, respectively, indicating a gradual improvement of ecological quality. This reflects the small impact of the deterioration of the ecological environment caused by human activities in the region in recent years. This study provides a methodological reference for evaluating the quality of the ecological environment in the Lviv region, which is of some value for the rational planning of local ecological and environmental

protection strategies and policies for sustainable economic development.

Key words: Remote sensing; ecological environment; Google Earth Engine; ecological index of remote sensing; cloud computing; Land Resources.

REFERENCES

1. Solarin, S.A. and Bello, M.O. (2018) “Persistence of policy shocks to an environmental degradation index: The case of ecological footprint in 128 developed and developing countries,” *Ecological Indicators*, 89, pp. 35–44. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.01.064> {in English}.
2. Raven, P.H., and Wagner, D.L. (2021). Agricultural intensification and climate change are rapidly decreasing insect biodiversity. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 118(2). {in English}.
3. Xin, Z., Ran, L. and Lu, X. (2012) “Soil erosion control and sediment load reduction in the Loess Plateau: Policy perspectives,” *International Journal of Water Resources Development*, 28(2), pp. 325–341. Available at: <https://doi.org/10.1080/07900627.2012.668650> {in English}.
4. Acreman, M. et al. (2021). Evidence for the effectiveness of nature-based solutions to water issues in Africa. *Environmental Research Letters*, 16(6). {in English}.
5. Ummenhofer, C.C. and Meehl, G.A. (2017) “Extreme weather and climate events with ecological relevance: a review,” *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 372(1723), p. 20160135. Available at: <https://doi.org/10.1098/rstb.2016.0135> {in English}.
6. Patrakeyev, I., Ziborov, V., and Lazorenko-Hevel, N. (2017). Methods of Evaluation of the State and Efficiency of the Urban Environment. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 4, 43-49. {in English}.
7. Patrakeyev, I., Ziborov, V., and Lazorenko-Hevel, N. (2017). Determination of Anthropogenic Changes in Urbanized Territories Using GIS Technology. *GeoScience Engineering*, 63(1), 8. {in English}.
8. Qiu, B. et al. (2017). Assessing the Three-North Shelter Forest Program in China by a novel framework for characterizing vegetation changes. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 133, 75-88. {in English}.
9. de Araujo Barbosa, C. C., Atkinson, P. M., and Dearing, J. A. (2015). Remote sensing of ecosystem services: A systematic review. *Ecological Indicators*, 52, 430-443. {in English}.
10. Huang, S. et al. (2021). A commentary review on the use of normalized difference vegetation index (NDVI) in the era of popular remote sensing. *Journal of Forestry Research*, 32(1), 1-6. {in English}.

11. Dutrieux, L. et al. (2015). Monitoring forest cover loss using multiple data streams, a case study of a tropical dry forest in Bolivia. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 107, 112-125. {in English}.
12. Vijith, H., and Dodge-Wan, D. (2020). Applicability of MODIS land cover and Enhanced Vegetation Index (EVI) for the assessment of spatial and temporal changes in strength of vegetation in tropical rainforest region of Borneo. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 18, 100311. {in English}.
13. Ghulam, A. et al. (2007). Modified perpendicular drought index (MPDI): a real-time drought monitoring method. *ISPRS journal of photogrammetry and remote sensing*, 62(2), 150-164. {in English}.
14. Kayet, N. et al. (2016). Spatial impact of land use/land cover change on surface temperature distribution in Saranda Forest, Jharkhand. *Modeling earth systems and environment*, 2, 1-10. {in English}.
15. Xu, H. Q. (2013). A remote sensing urban ecological index and its application. *Acta Ecol. Sin*, 33(24), 7853-7862. {in Chinese}.
16. Gorelick, N. et al. (2017) "Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone," *Remote Sensing of Environment*, 202, pp. 18–27. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.031> {in English}.
17. Tamiminia, H. et al. (2020) "Google Earth Engine for geo-big data applications: A meta-analysis and systematic review," *Isprs Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 164, pp. 152–170. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2020.04.001> {in English}.
18. Zhao, Q. et al. (2021) "Progress and trends in the application of Google Earth and Google Earth Engine," *Remote Sensing*, 13(18), p. 3778. Available at: <https://doi.org/10.3390/rs13183778> {in English}.
19. Xu, H. et al. (2018). Prediction of ecological effects of potential population and impervious surface increases using a remote sensing based ecological index (RSEI). *Ecological indicators*, 93, 730-740. {in English}.
20. Yue, H. et al. (2019). Eco-environmental quality assessment in China's 35 major cities based on remote sensing ecological index. *Ieee Access*, 7, 51295-51311. {in English}.
21. Xiong, Y. et al. (2021). Assessment of spatial-temporal changes of ecological environment quality based on RSEI and GEE: A case study in Erhai Lake Basin, Yunnan province, China. *Ecological Indicators*, 125, 107518. {in English}.
22. Zhang, Y., and Jiang, F. (2022). Developing a remote sensing-based ecological index based on improved biophysical features. *Journal of Applied Remote Sensing*, 16(1), 012008-012008. {in English}.
23. USGS Landsat 8 Surface Reflectance Tier 1 [deprecated]. Available at: <https://developers.google.com/earth->

[engine/datasets/catalog/LANDSAT_LC08_C01_T1_SR](https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/LANDSAT_LC08_C01_T1_SR) {in English}.

24. MOD11A2.061 Terra Land Surface Temperature and Emissivity 8-Day Global 1km. Available at: https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/MODIS_061_MOD11A2 {in English}.

25. aig, M.H.A. et al. (2014) “Derivation of a tasselled cap transformation based on Landsat 8 at-satellite reflectance,” *Remote Sensing Letters*, 5(5), pp. 423–431. Available at: <https://doi.org/10.1080/2150704x.2014.915434> {in English}.

26. Xu, H. (2005). A study on information extraction of water body with the modified normalized difference water index (MNDWI). *JOURNAL OF REMOTE SENSING-BEIJING-*, 9(5), 595. {in English}.

27. Li, Y. et al. (2023). Detection of spatiotemporal changes in ecological quality in the Chinese mainland: Trends and attributes. *Science of The Total Environment*, 884, 163791. {in English}.

28. Geng, J. et al. (2022) “Analysis of spatiotemporal variation and drivers of ecological quality in Fuzhou based on RSEI,” *Remote Sensing*, 14(19), p. 4900. <https://doi.org/10.3390/rs14194900> {in English}.

29. Gambardella, C. et al. (2021). A principal components analysis-based method for the detection of cannabis plants using representation data by remote sensing. *Data*, 6(10), 108. {in English}.

30. Ren, L., and Lazorenko-Hevel, N. (2020, December). The Status and Development Trends of Land Remote Sensing. In *International Conference of Young Professionals «GeoTerrace-2020»* (Vol. 2020, No. 1, pp. 1-5). European Association of Geoscientists & Engineers. {in English}.