

УДК 528.9:504.4:711.4

95

ГЕОПРОСТОРОВА ОЦІНКА ЗМІН ТЕПЛООВОГО ТА ЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ МІСЬКОЇ ТЕРИТОРІЇ ЗА ДАНИМИ СУПУТНИКОВОГО МОНІТОРИНГУ

Давибіда Лідія^{1}, Нагірний Володимир¹*

¹ Кафедра геодезії та землеустрою, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, м. Івано-Франківськ, Україна, *e-mail: lidia.davvbida@nung.edu.ua

Анотація. У роботі розглядається проблема моніторингу змін міського середовища під впливом антропогенних факторів та кліматичних тенденцій. Дослідження спрямоване на аналіз просторово-часової динаміки температури поверхні та стану рослинного і забудованого покриття на прикладі міста Івано-Франківськ. Для досягнення мети використано супутникові знімки Landsat за літній період 1985 та 2025 років. На основі цих даних розраховано індекси, що відображають стан рослинності, щільність забудови, рівень урбанізації та розподіл температури поверхні, дозволяють оцінити просторові закономірності поширення температурних аномалій. Результати дослідження демонструють високу ефективність супутникового моніторингу для виявлення локальних зон перегріву та потенційних екологічних ризиків у межах міських територій. Запропонований підхід може бути адаптований для регулярного спостереження за станом довкілля інших населених пунктів.

Ключові слова: урбанізація, дистанційне зондування Землі, спектральні індекси, LST, Google Earth Engine.

Актуальність теми дослідження

Зміни у структурі міського середовища, зумовлені інтенсивною урбанізацією, кліматичними чинниками та антропогенним тиском, все більше привертають увагу наукової спільноти. Однією з ключових екологічних проблем є формування міських островів тепла та зменшення площ із природним рослинним покривом, що призводить до зростання локальних температур, зниження якості повітря, підвищення енергоспоживання і загрози здоров'ю населення (Arulbalaji, Padmalal, & Maya, 2020; Yan et al., 2023). Застосування даних дистанційного зондування Землі та геоінформаційних технологій надає можливість здійснювати комплексну оцінку просторово-часових змін у межах міських територій. Методи аналізу дистанційного зондування, зокрема розрахунок вегетаційних, забудовних і теплових індексів, дозволяють виявити закономірності деградації довкілля та запропонувати інструменти для планування сталого розвитку (Goldblatt et al., 2021). Попри велику кількість досліджень, присвячених аналізу окремих індексів, бракує комплексних робіт, що поєднують багаторічний порівняльний аналіз показників NDVI, NDBI, BUI та температури земної поверхні для середніх міст Східної Європи. Зокрема, Івано-Франківськ як приклад швидко зростаючого міста з неоднорідною забудовою та зростаючим антропогенним навантаженням є недостатньо вивченим. Мета даного дослідження – продемонструвати можливість супутникового моніторингу як ефективного інструменту для діагностики екологічного стану урбанізованих територій і підтримки прийняття рішень у сфері просторового планування.

Методика

Дослідження базується на використанні супутникових даних Landsat для порівняння та геопросторової оцінки змін екологічного та теплового стану території м. Івано-Франківськ протягом літнього періоду 1985 та 2025 років. Для аналізу було обрано знімки з найменшою хмарністю (<20%).

Для отримання індикаторів екологічного стану використовували такі індекси:

- 1) NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) – показник вегетаційної активності, розрахований як різниця між ближнім інфрачервоним (NIR) та червоним (RED) каналами, нормалізована на їхню суму (Ju et al., 2024);
- 2) NDBI (Normalized Difference Built-up Index) – індекс забудови, що базується на різниці між середньоінфрачервоним (SWIR) та NIR каналами (He et al., 2010);
- 3) BUI (Built-up Index) – побудований як різниця між NDBI та NDVI, що дозволяє краще диференціювати урбанізовані площі (Zha, Gao, & Ni, 2003);
- 4) LST (Land Surface Temperature) – температура поверхні, обчислена на основі термального каналу (Band 10 для Landsat 8/9, Band 6 для Landsat 5) із використанням коефіцієнтів калібрування (Thammaboribal, 2024).

Обробку супутникових зображень і розрахунок індексів здійснено у середовищі Google Earth Engine (GEE), що забезпечило доступ до хмарних архівів супутникових даних та обчислювальних потужностей для аналізу великих масивів інформації. Для кожного року створено усереднене композитне зображення, на основі якого будувалися тематичні карти індексів NDVI, NDBI, BUI та LST.

Виклад основного матеріалу

Отримані результати свідчать про суттєві просторово-часові зміни в екологічному та тепловому стані міської території Івано-Франківська протягом 40-річного періоду. Аналіз супутникових індексів NDVI, NDBI, BUI та LST за літні сезони 1985 та 2025 років виявив характерні тенденції урбанізаційних змін (Рисунок 1).

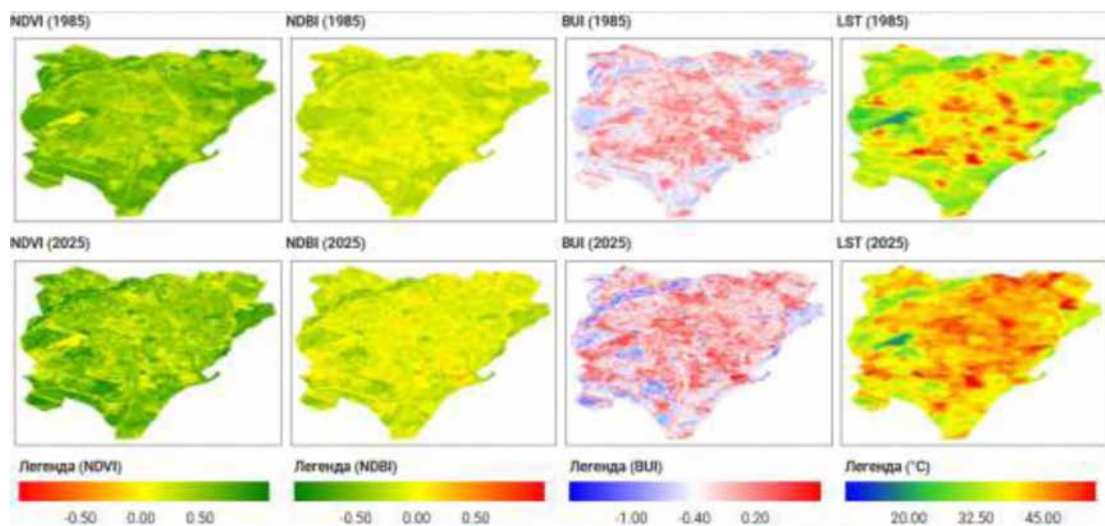


Рисунок 1. Зміни рослинного покриву, урбанізованих територій та поверхневої температури в м. Івано-Франківську відповідно до супутникових даних Landsat 5 (червень – серпень, 1985) та Landsat 8 (червень – серпень, 2025).

Показники NDVI, що відображають стан рослинного покриву, у 1985 році мали переважно високі значення, характерні для зелених насаджень. У 2025 році спостерігається зменшення значень NDVI, особливо в центральних та південних районах міста, що вказує на скорочення площ із природною або культурною рослинністю.

Натомість індекси NDBI та BUI, які використовуються для виявлення забудованих територій, продемонстрували зростання впродовж досліджуваного періоду. Зміщення балансу між рослинністю та урбанізованими структурами свідчить про інтенсивний розвиток міської інфраструктури та ущільнення забудови. Особливу увагу заслуговують зміни температури поверхні землі (LST). Якщо у 1985 році значення LST були відносно рівномірними і знаходились у межах 20–32,5 °С, то у 2025 році зафіксовано суттєве підвищення температури в центральній частині міста, що є характерною ознакою формування теплового острова.

Висновки

Результати дослідження свідчать про суттєві трансформації екологічного стану міського середовища Івано-Франківська впродовж 1985–2025 років. Аналіз супутникових знімків Landsat виявив зменшення значень NDVI та зростання середніх значень NDBI та BUI, що свідчить про інтенсивне розширення урбанізованих ділянок та зниження екологічного балансу міського ландшафту. Температура поверхні (LST) демонструє чітку тенденцію до підвищення, що підтверджує ефект «острова тепла». Отримані дані можуть бути використані міськими адміністраціями, екологічними службами та урбаністами для ухвалення рішень щодо просторового планування, оптимізації зелених зон і кліматоадаптаційних заходів. Перспективою дослідження є подальше виявлення причинно-наслідкових зв'язків між змінами ландшафту й мікрокліматичними умовами міста шляхом застосування методів машинного навчання.

Перелік літературних джерел

- Arulbalaji, P., Padmalal, D. & Maya, K. (2020). Impact of urbanization and land surface temperature changes in a coastal town in Kerala, India. *Environ Earth Sci*, 79, 400. <https://doi.org/10.1007/s12665-020-09120-1>
- Goldblatt, R., Addas, A., Crull, D., Maghrabi, A., Levin, G. G., & Rubinyi, S. (2021). Remotely Sensed Derived Land Surface Temperature (LST) as a Proxy for Air Temperature and Thermal Comfort at a Small Geographical Scale. *Land*, 10(4), 410. <https://doi.org/10.3390/land10040410>
- Yan, Z., Li, Z., Li, P., Zhao, C., Xu, Y., Cui, Z., & Sun, H. (2023). Spatial and temporal variation of NDVI and its driving factors based on geographical detector: A case study of Guanzhong plain urban agglomeration. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 32, 101030. <https://doi.org/10.1016/J.RSASE.2023.101030>
- Zha, Y., Gao, J., & Ni, S. (2003). Use of normalized difference built-up index in automatically mapping urban areas from TM imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 24(3), 583–594. <https://doi.org/10.1080/01431160304987>
- Ju, Y., Dronova, I., Ma, Q., Lin, J., Moran, M. R., Gouveia, N., Hu, H., Yin, H., & Shang, H. (2024). Assessing Normalized Difference Vegetation Index as a proxy of urban greenspace exposure. *Urban Forestry & Urban Greening*, 99, 128454. <https://doi.org/10.1016/J.UFUG.2024.128454>
- He, C., Shi, P., Xie, D., & Zhao, Y. (2010). Improving the normalized difference built-up index to map urban built-up areas using a semiautomatic segmentation approach. *Remote Sensing Letters*, 1(4), 213–221. <https://doi.org/10.1080/01431161.2010.481681>
- Thammaboribal, P. (2024). Investigating Land Surface Temperature Variation and Land Use Land Cover Changes in Pathumthani, Thailand (1997-2023) using Landsat Satellite Imagery: A Comprehensive Analysis of LST and Urban Hot Spots (UHS). *International Journal of Geoinformatics*, 20(2), 27–41. <https://doi.org/10.52939/ijg.v20i2.3063>



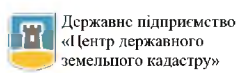
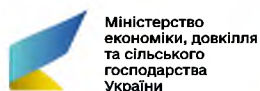
Асоціація
Фахівців
Землеустрою
України



Асоціація
Сертифікованих
Геодезистів
України
ПРОФЕСІЙНА ОРГАНІЗАЦІЯ

ТЕЗИ ДОПОВІДЕЙ

Міжнародної конференції
"Land Unity Summit 2025"
11-12 вересня 2025 р.,
Івано-Франківськ



УДК 528+332:349
М-34

Матеріали Міжнародної конференції “Land Unity Summit 2025” 11–12 вересня 2025 р., Івано-Франківськ: Видавництво ІФНТУНГ, 2025.– Мова укр. і англ.

ISBN-978-966-694-497-2-2025

У збірнику матеріалів конференції представлені роботи, які відображають загальнотеоретичні, методологічні, практичні проблеми та результати досліджень у галузі геодезії, інженерної геодезії, картографії, аерофотогеодезії, фотограмметрії, геоінформатики, кадастру, просторового планування територій, правових відносин у галузі землекористування та раціонального природокористування. Рекомендується для науковців, викладачів, аспірантів, студентів та широкого кола громадськості.

Матеріали конференції подано в авторській редакції. Відповідальність за зміст поданих матеріалів та точність наведених даних несуть автори.

ISBN-978-966-694-497-2-2025

© ІФНТУНГ, 2025