

КОМПЛЕКСУВАННЯ ДАНИХ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ДЛЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО МОНІТОРИНГУ СТАНУ ЗЕМЕЛЬНИХ РЕСУРСІВ З ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДІВ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ

Світенко Г.М.^{1*}, Романенков Ю.О.¹

¹ Харківський національний університет радіоелектроніки, пр. Науки, 14, м. Харків, 61166, Україна

Ключові слова: LULC, SAR, оцінка пошкоджень, дистанційне зондування.

Процеси управління земельними ресурсами в умовах військових конфліктів ускладнюються високою динамікою та невизначеністю, що робить традиційні методи контролю малоефективними. Водночас оцінка масштабу пошкоджень і занедбаності земель критично важлива для планування відновлення пошкоджених ресурсів та подальшої господарської діяльності. Сучасні технології дистанційного зондування (зокрема супутникові знімки SAR, LIDAR, тепловізійні) у поєднанні з підходами машинного навчання дозволяють автоматизувати моніторинг і аналіз землекористування.

Запропоновані рішення ґрунтуються на використанні оптичних вегетаційних індексів, зокрема Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), Enhanced Vegetation Index (EVI), Advanced Vegetation Index (AVI) та Green Chlorophyll Index (GCI) [1]. Ці індекси дозволяють отримати кількісну характеристику стану рослинності на певній земельній ділянці, що є ключовим для оцінки її стану.

Аналіз змін значень вегетаційних індексів у часовому розрізі дає змогу виявляти динаміку рослинного покриву, включаючи його деградацію, відновлення або повне знищення. На основі цих змін, з використанням алгоритмів машинного навчання, здійснюється автоматизована класифікація ділянок за відповідними категоріями – наприклад, «постраждала», «не постраждала» або з визначенням ступеня пошкодження (від легкого до критичного). Запровадження порогових значень для кожного класу дозволяє отримати детальнішу градацію стану земель, що є важливим для прийняття обґрунтованих рішень щодо їхнього відновлення, рекультивації чи подальшого використання.

Такий підхід демонструє високу ефективність – точність автоматизованої класифікації земельних ділянок досягає 80-85%, що робить його надійним інструментом для моніторингу стану територій. Проте існують важливі обмеження, пов'язані із специфікою використання оптичних супутникових даних.

Однією з ключових проблем є хмарність, яка значно знижує якість або повністю блокує отримання достовірних зображень земної поверхні. В умовах тривалої хмарності характерної, наприклад, для осінньо-зимового періоду або вологих кліматичних зон, може виникнути дефіцит спостережень протягом кількох послідовних періодів. Це створює прогалини в даних і ускладнює аналіз змін.

Іншим критичним фактором є часова динаміка візуальних ознак пошкоджень. Елементи руйнування, такі як вирви від вибухів, сліди пожеж або зруйновані об'єкти, мають чітко виражену візуальну ідентифікацію лише в короткостроковій перспективі. Через декілька місяців після події ці ознаки поступово маскуються природною рослинністю або штучним втручанням, що суттєво знижує помітність наслідків пошкоджень у оптичному

* Corresponding address (heorhii.svitenko@nure.ua)

діапазоні. У поєднанні з хмарністю це ускладнює визначення точного часу виникнення пошкоджень, а також обмежує можливість ретроспективного аналізу їхнього масштабу. Тому для підвищення надійності моніторингу у роботі пропонується інтеграція оптичних даних із SAR спостереженнями [2], які є незалежними від погодних умов і рівня освітленості земної поверхні. Такий підхід дозволяє забезпечити безперервність моніторингу, зокрема в умовах тривалої хмарності або в нічний час, коли оптичні сенсори не дають результату.

Особливу увагу приділено використанню SAR-індексів, які можуть слугувати аналогами традиційних оптичних індексів, таких як NDVI, у задачах аналізу рослинного покриву та змін поверхні. До таких індексів належать Radar Vegetation Index (RVI)[3], Enhanced Polarimetric Radar Vegetation Index (EPRVI)[4] та Dual Polarimetric Radar Vegetation Index (DPRVI)[5]. Ці індекси дозволяють кількісно оцінювати щільність і структуру рослинності навіть за умов обмеженої або нульової видимості.

Окрім цього, в роботі розглядається застосування інтерферометричних методів (InSAR) для аналізу мікрорельєфу місцевості. Порівняння цифрових моделей висоти, отриманих у різні періоди, дозволяє виявляти деформації ґрунту, поява яких може свідчити про утворення вирв, зсуви чи інші деструктивні процеси. Таким чином, InSAR-технології виступають доповненням до вегетаційного аналізу і дозволяють комплексно оцінювати як біофізичні, так і геоморфологічні наслідки бойових дій.

Метою запропонованого підходу є формалізація задачі автоматизованого виявлення та оцінювання ступеня пошкоджень земельних ресурсів і критичної інфраструктури в постконфліктних регіонах шляхом поєднання оптичних і SAR-даних з методами машинного навчання.

Таким чином, очікується створення методичного та технологічного підґрунтя для надійного моніторингу та прийняття рішень щодо відновлення землекористування в умовах військових конфліктів та післявоєнного відновлення.

ЛІТЕРАТУРА

- 1 Kussul, N., Drozd, S., Yailymova, H., Shelestov, A., Lemoine, G., & Deininger, K. (2023). Assessing damage to agricultural fields from military actions in Ukraine: An integrated approach using statistical indicators and machine learning. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 125. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2023.103562>.
- 2 Romanenkov, Y., Danova, M., Kashcheyeva, V., Bugaienko, O., Volk, M., Karminska-Bielobrova, M., & Lobach, O. (2018). Complexification methods of interval forecast estimates in the problems on short-term prediction. *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*, (3 (3)), 50-58.
- 3 Hu, X., Li, L., Huang, J., Zeng, Y., Zhang, S., Su, Y., ... & Hong, Z. (2024). Radar vegetation indices for monitoring surface vegetation: Developments, challenges, and trends. *Science of The Total Environment*, 173974. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.173974>.
- 4 Chang, J. G., Kraatz, S., Anderson, M., & Gao, F. (2024). Enhanced Polarimetric Radar Vegetation Index and Integration with Optical Index for Biomass Estimation in Grazing Lands Across the Contiguous United States. *Remote Sensing*, 16(23), 4476. <https://doi.org/10.3390/rs16234476>.
- 5 Mandal, D., Kumar, V., Ratha, D., Dey, S., Bhattacharya, A., Lopez-Sanchez, J. M., ... & Rao, Y. S. (2020). Dual polarimetric radar vegetation index for crop growth monitoring using sentinel-1 SAR data. *Remote Sensing of Environment*, 247, 111954. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2020.111954>.