

Reinforcement Learning Framework. *IEEE Transactions on Network and Service Management*. 2024. 21(6), 6759–6769. <https://doi.org/10.1109/TNSM.2024.3454282>

4. Xie B. Deep Reinforcement Learning-Based Intelligent Traffic Scheduling in Software-Defined Networks. *Informatica*. 2025. 49(22). <https://doi.org/10.31449/inf.v49i22.8109>.

5. Zhang J., Sha J., Zhang C., Zhang Y. A CNN-LSTM-GRU Hybrid Model for Spatiotemporal Highway Traffic Flow Prediction. *Systems*. 2025. 13(9), 765. <https://doi.org/10.3390/systems13090765>

DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-661-4-4>

**DEVELOPMENT OF A UNIVERSAL SOFTWARE TOOL
FOR ASSESSING THE IMPACT OF MILITARY OPERATIONS
ON LANDSCAPE AND URBAN AREAS USING CLOUD
TECHNOLOGY**

**РОЗРОБКА УНІВЕРСАЛЬНОГО ПРОГРАМНОГО ЗАСОБУ
ДЛЯ ОЦІНКИ ВПЛИВУ ВІЙСЬКОВИХ ДІЙ НА ЛАНДШАФТНІ
ТА УРБАНІЗОВАНІ ТЕРИТОРІЇ З ВИКОРИСТАННЯМ
ХМАРНИХ ТЕХНОЛОГІЇ**

Solona I. R.

*1st year Student, Group PZ-25-2,
Dnipro University of Technology
Dnipro, Ukraine*

Сольона І. Р.

*студентка 1 курсу групи ПЗ-25-2,
Національний технічний університет
«Дніпровська політехніка»
м. Дніпро, Україна*

Актуальність теми. В умовах бойових дій в Україні дистанційне зондування Землі (ДЗЗ) є безальтернативним методом безпечного моніторингу інфраструктурних та екологічних збитків на недоступних територіях. Широке використання комерційних супутникових платформ обмежується високою вартістю та закритою архітектурою, а десктопних геоінформаційних систем (наприклад, QGIS) – надмірними вимогами до локальних обчислювальних потужностей. З огляду на це, розробка автоматизованих хмарних алгоритмів є критично актуальним завданням, виконання якого дозволить оперативню документувати руйнування, оптимізувати ресурси та мінімізувати суб'єктивний людський фактор.

Наукова новизна. Новизна дослідження полягає у розробці комплексної хмарної архітектури для моніторингу наслідків військових дій, яка інтегрує в єдиний процес автоматизованої обробки аналіз урбанізованих (NDBI), природних (NDVI) та гідрологічних (NDWI) об'єктів. На відміну від класичних алгебраїчних підходів, що потребують емпіричного ручного калібрування, у розробленому алгоритмі реалізовано гібридний метод класифікації. Для міської забудови та лісових масивів застосовано метод адаптивного статистичного підбору порогів на базі стандартного відхилення, а для водних об'єктів – фізично обґрунтований метод нульового перетину.

Головною **метою** дослідження є розробка автоматизованого хмарного інструменту, який на основі гібридного алгоритму обробки бітемпоральних супутникових знімків (обчислення індексів NDBI, NDVI, NDWI з використанням адаптивної статистики та нульового перетину) автоматично генерує карти руйнувань і розраховує площу уражених урбанізованих, природних та гідрологічних об'єктів.

Теоретичним підґрунтям алгоритму є фізичні принципи ДЗЗ, засновані на унікальних спектральних сигнатурах поверхонь [1, с. 33–48]. Через неефективність прямого порівняння оптичних пікселів, математичним фундаментом обробки слугують нормалізовані різниці індексів (NDBI для забудови, NDVI для ландшафтів, NDWI для води) [4, с. 5], розраховані за мультиспектральними знімками Sentinel-2 (10 м/піксель), що довели свою ефективність для швидкого картографування руйнувань в Україні [2].

Для просторової ідентифікації руйнувань застосовується класичний алгебраїчний метод виявлення змін (Change Detection), який обчислює абсолютну різницю бітемпоральних індексів і є значно доцільнішим та швидшим для хмарних платформ порівняно з ресурсоемними нейромережевими моделями [3]. З метою повної автоматизації класифікації відкинута метод емпіричного підбору порогів і впроваджено гібридний математичний апарат. Для урбанізованих і природних зон діє модуль адаптивної статистики, де динамічний поріг аномалії розраховується індивідуально за формулою $T = |\mu| + \sigma$ (де μ – середнє значення зміни індексу, σ – стандартне відхилення). Натомість для водних поверхонь (NDWI) використовується фізичний метод нульового перетину. Це дозволяє генерувати точні карти збитків абсолютно автономно.

Розроблений мовою Python у хмарному середовищі Google Earth Engine програмний засіб реалізує комплексний чотирьохетапний алгоритм автоматизованої оцінки руйнувань. Робота скрипта розпочинається з гнучкого просторового обмеження зони інтересу (шляхом інтерактивного полігону або буферного радіуса) та підготовки «чистих» медіанних композитів Sentinel-2 за рахунок автоматичної фільтрації

хмарності. Ядром алгоритму є багатовекторний спектральний аналіз, який адаптується до типу покриття: для урбанізованих територій розраховується індекс NDBI (з фільтрацією через маску забудови ESA WorldCover), для природних ландшафтів – NDVI, а для водних об'єктів – NDWI. Бінарна класифікація ушкоджень здійснюється автоматично за допомогою гібридного методу, що поєднує розрахунок динамічних адаптивних порогів на основі стандартного відхилення гістограми та фізичний метод нульового перетину. На фінальному етапі алгоритм здійснює кількісну оцінку уражених ділянок у квадратних кілометрах та експортує згенеровану бінарну маску у форматі GeoTIFF на Google Drive для подальшої інтеграції з ГІС-системами.

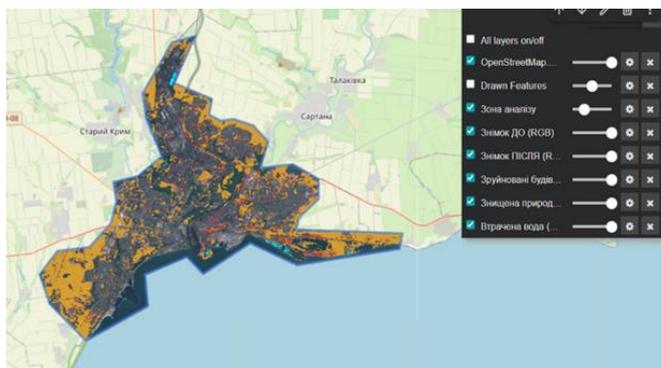


Рис. 1. Просторовий аналіз м. Маріуполь: візуалізація виявлених руйнувань (червоний колір). Площа зруйнованої інфраструктури: 12.07 км²; знищеної супутньої рослинності: 50.27 км²

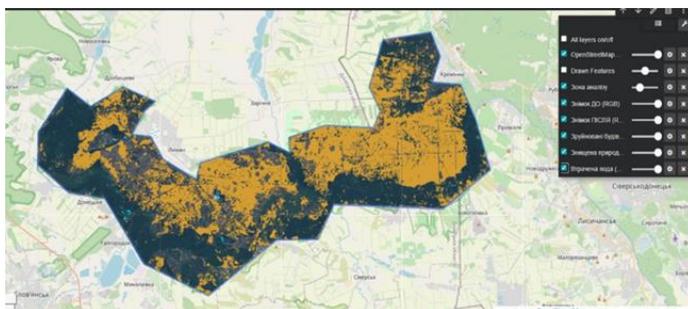


Рис. 2. Просторовий аналіз Серебрянського лісу: фіксація втрат лісового покриття (помаранчевий колір). Площа знищеної рослинності: 207.10 км²; пошкодження суміжної інфраструктури: 0.41 км²



Рис. 3. Просторовий аналіз Каховського водосховища: візуалізація втраченої водної поверхні (блакитний колір). Площа зниклої водної поверхні: 1530.60 км²; втраченої прибережної рослинності: 114.13 км

З метою верифікації розробленого програмного засобу та підтвердження його універсальності проведено тестування алгоритму на трьох репрезентативних локаціях із різними типами ландшафтного покриття. Робота гібридного методу класифікації ідентифікувала руйнування щільної міської забудови у м. Маріуполь (із застосуванням індексу NDBI та урбан-маски), зафіксувала масштабні екологічні збитки від пожеж у лісових масивах Серебрянського лісу (за індексом NDVI) та відобразила глобальні гідрологічні зміни внаслідок зникнення водної маси Каховського водосховища (за індексом NDWI). Просторовий розподіл виявлених аномалій (рис. 1–3) та відповідні їм кількісні показники уражених площ демонструють високу вибірковість алгоритму: програма здатна з високою точністю розділяти різні типи збитків, мінімізуючи хибні спрацьовування на суміжні фактори (наприклад, відокремлюючи руйнування інфраструктури від сезонних змін на полях).

Висновки. У результаті дослідження розроблено та програмно реалізовано автоматизований хмарний інструмент на базі Google Earth Engine для просторової та кількісної оцінки наслідків воєнних дій. Головною прикладною перевагою розробки є інтеграція в єдину автоматизовану систему методів адаптивної статистики (динамічний розрахунок порогів для міської забудови і лісів) та нульового перетину (для водних об'єктів), що мінімізує вплив хибних факторів та усуває потребу в ручному калібруванні. Тестування підтвердило адаптивність алгоритму: успішно ідентифіковано втрату 12.07 км² забудови у Маріуполі, 207.10 км² насаджень у Серебрянському лісі та 1530.60 км² водної поверхні Каховського водосховища. Програмний засіб є ефективним навчально-аналітичним інструментарієм для закладів вищої освіти в межах опанування сучасних ГІС-технологій, а також прикладним

рішенням для державних органів у документуванні збитків. Подальший розвиток алгоритму спрямований на кількісну оцінку його точності за допомогою матриці похибок (Confusion Matrix), інтеграцію всепогодних радарних даних Sentinel-1 (SAR), залучення нейромереж (CNN) для точнішого розпізнавання контурів та розробку користувачького вебдодатка (Dashboard).

Література:

1. Довгий С. О., Лялько В. І., Бабійчук С. М., Кучма Т. Л., Томченко О. В., Юрків Л. Я. Основи дистанційного зондування Землі: історія та практичне застосування : навч. посіб. Київ : Інститут обдарованої дитини НАПН України, 2019. 316 с. URL: https://nvkarta.com/project/library/uploads/geography/map-technology/%5bsensing%5d%5bhandbook%5d%5b2019%5d_osnovy_dystantsiynoho_zonduvannya_zemli_istoriya_ta_praktychne_zastosuvannya.pdf
2. Aimaiti Y., Sanon C., Koch M., Baise L. G., Moaveni B. War Related Building Damage Assessment in Kyiv, Ukraine, Using Sentinel-1 Radar and Sentinel-2 Optical Images. USA, 2022. 21 p. URL: <https://www.mdpi.com/2072-4292/14/24/6239>
3. Cheng G., Huang Y., Li X., Lyu S., Xu Z., Zhao H., Zhao Q., Xiang S. Change Detection Methods for Remote Sensing in the Last Decade: A Comprehensive Review. UK, China, 2024. 36 p. URL: <https://www.mdpi.com/2072-4292/16/13/2355>
4. Yasin M. Y., Abdullah J., Noor N. M., Yusoff M. M., Noor N. M. Landsat observation of urban growth and land use change using NDVI and NDBI analysis. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Malaysia, 2021. 15 p. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/1067/1/012037/pdf>