

ГІС В ПЛАНУВАННІ ТА УПРАВЛІННІ ТЕРИТОРІЯМИ З РОЗВИТКОМ ЗСУВНИХ ПРОЦЕСІВ

Касіянчук Дмитро^{1}, Стельмах Олег², Штогрин Людмила¹*

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

² ст.гр. ГЗ-23-1, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, м. Івано-Франківськ, Україна

Анотація. Зсув ґрунту, що стався 26 січня 2024 року в межах Краснянського лісництва (Закарпатська область), охопив понад 10,5 га і спричинив значні порушення деревостанів та загрози інфраструктурі. Цей випадок актуалізував потребу у впровадженні оперативних та надійних методів виявлення та оцінки зсувних явищ у реальному часі, особливо в умовах обмеженої польової доступності та снігового покриву. У статті представлено результати використання мультисенсорного підходу, що поєднує дані супутникової радарної інтерферометрії (Sentinel-1, SAR) та оптичних знімків (Sentinel-2, NDVI), для виявлення потенційних зсувів у гірських лісистих районах. У межах буферної зони навколо дорожньої інфраструктури було проведено виявлення ділянок із суттєвим спадом зворотного радарного сигналу та індексу вегетації, що є індикаторами порушення ґрунтового-рослинного покриву. Основну увагу приділено схилам із нахилом понад 5°, де найвірогідніша активація зсувних процесів. Отримано маску потенційно активного зсуву площею понад 2,5 га, який співвідноситься з реально зафіксованим зсувом у січні 2024 року. Методика включала морфологічну обробку, фільтрацію артефактів, обчислення площ по похилій поверхні та векторизацію. Результати підтверджують ефективність поєднання SAR-аналізу й NDVI у виявленні геодинамічних змін навіть за умов сезонного снігового покриву. Запропонований підхід може бути використаний як елемент локальної системи раннього попередження у зсувонебезпечних регіонах Карпат.

Ключові слова: зсуви, супутниковий моніторинг, Sentinel-1, NDVI, ГІС-моделювання, Карпати

Актуальність теми дослідження

Зсув ґрунту, що стався 26 січня 2024 року в межах Краснянського лісництва (Закарпатська область), охопив площу понад 10,5 га, спричинив масове повалення деревостанів і створив ризики для інфраструктури та населених пунктів (ДП "Ліси України"), (Державна служба України з надзвичайних ситуацій, 2024). Цей випадок ілюструє зростаючу інтенсивність зсувних процесів в Українських Карпатах – регіоні, що вирізняється складними геолого-геоморфологічними умовами та зростаючим антропогенним навантаженням (Ivanik et al., 2022, Shtohryn et al., 2024).

З огляду на високу вартість відновлення пошкоджених екосистем і об'єктів, необхідним є запровадження оперативних методів виявлення та оцінки зсувних явищ. Інтеграція супутникових даних дистанційного зондування Землі (ДЗЗ), таких як SAR Sentinel-1, із вегетаційними та вологісними індексами дозволяє виявляти ранні ознаки деструктивних змін навіть за умов снігового покриву (Lin et al., 2022, Bianchi et al., 2022, Hadiatska et al., 2025).

Актуальність теми дослідження

Події січня 2024 року стали черговим підтвердженням зростання частоти зсувних явищ в умовах кліматичних змін та локального перезволоження ґрунтів у зимовий період. Це вимагає переосмислення стратегій спостереження та реагування на геодинамічні

процеси в лісистих гірських територіях (Hadiatska et al., 2025). Водночас, Українські Карпати залишаються одним із найменш моніторингово забезпечених регіонів у частині систем раннього попередження зсувів.

Актуальність дослідження полягає у впровадженні мультисенсорного підходу до виявлення активізації зсувів, який враховує супутникові спостереження SAR Sentinel-1 (Copernicus Browser, 2025), оптичні індекси вегетації та геоінформаційне моделювання. Особлива увага приділяється можливості виявлення змін під сніговим покривом, що дозволяє фіксувати процеси деградації в осінньо-зимовий сезон (Bianchi et al., 2022). Інтеграція таких методик із локальними геоданими дозволяє покращити просторову деталізацію та підвищити ефективність реагування з боку лісових господарств, громад і служб надзвичайних ситуацій. Це відкриває нові можливості для формування бази зсувної небезпеки в умовах змін клімату та зростаючого природно-техногенного навантаження.

Методика

У дослідженні було застосовано комплексну ГІС-методику для виявлення потенційних зсувів у буферній зоні доріг на схилах $>5^\circ$ в межах Дубівської ОТГ. Використано знімки Sentinel-1 (SAR) для виявлення змін радарного зворотного розсіювання (VV та VH) до і після зсуву, та Sentinel-2 для обчислення змін NDVI як індикатора деградації рослинності. Потенційні зсуви визначалися за комбінацією зниження SAR-відбиття та NDVI в межах зони аналізу. Додатково виконано морфологічну обробку маски, фільтрацію дрібних об'єктів, векторизацію та обчислення площ. Для кожного полігона оцінено площу з урахуванням похилої поверхні (на основі DEM) і похибку планарних вимірів.

Виклад основного матеріалу

У межах зони дослідження було ідентифіковано кілька потенційних зсувів площею понад 1 га, які супроводжувалися значними змінами як SAR-сигналу, так і NDVI. (рис. 1).

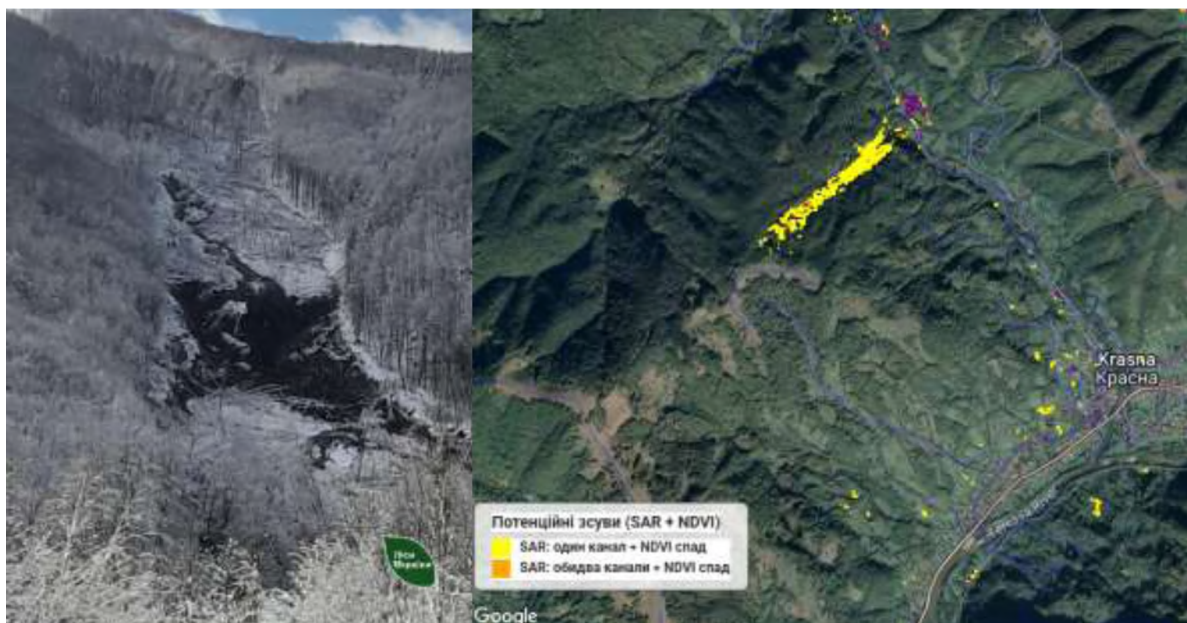


Рисунок 1. Зсув ґрунту 26.01.2024 у Дубівській громаді Тячівського району в межах території лісового фонду Краснянського лісництва ДП «Мокрянське лісомисливське господарство» та класифіковане зображення.

Найбільша площа зсуву (по похилій поверхні) становила близько 2,67 га, а максимальна різниця між горизонтальною та нахиленою площами сягала 15,4%, що вказує на значну похибку при планарних оцінках у гірських умовах.

У результаті комбінованого аналізу супутникових знімків Sentinel-1 (SAR) та Sentinel-2 (NDVI) було виявлено активний зсув на північ від с. Красна, площа якого (з урахуванням похилу) перевищує 2,5 га. Ділянка характеризується синхронним спадом SAR-відбиття (VV/VH) та індексу NDVI у період між 2023 та 2024 роками, що вказує на деградацію рослинності та зміну структури поверхні.

Висновки

За результатами інтегрованого аналізу супутникових даних Sentinel-1 (SAR) та Sentinel-2 (NDVI) було виявлено активний зсув північніше села Красна, площа якого перевищує 2,5 га. Просторова конфігурація виявленої ділянки, її морфологія та сигнальні характеристики підтверджують наявність деградаційних процесів, що могли бути активізовані внаслідок сезонного перезволоження схилів. Цей комплекс ілюструє ефективність мультисенсорного підходу до раннього виявлення зсувів у складних ландшафтних умовах, зокрема за умов зимового покриву, й підтверджує необхідність впровадження таких рішень для моніторингу небезпечних геодинамічних процесів у Карпатському регіоні.

Перелік літературних джерел

- Bianchi, F. M., Grahn, J. (2025). Monitoring snow avalanches from SAR data with deep learning. *ArXiv preprint*. DOI: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2502.18157> arxiv.org
- Copernicus Browser (2025, July 20). *Satellite database* URL: <https://browser.dataspace.copernicus.eu/>
- Hadiatska, K., Ivanik, O., Petrenko M., Kravchenko, D. (2025). Geospatial assessment of landslide susceptibility using overlay analysis: A case study of Transcarpathian region (Volovets District). *18th International Conference Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment*, Apr 2025, Volume 2025, 1-5. DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2025510038>
- Ivanik, O., Fonseca, J., Shabatura, O., Khomenko, R., Hadiatska, K., & Kravchenko, D. (2022). An integrated approach for landslide hazard assessment: A case study of the Middle Dnieper Basin, Ukraine. *Journal of Water and Land Development*, 81–86. DOI: <https://doi.org/10.24425/jwld.2021.139947>
- Lin, Y. N., Chen, Y.-C., Kuo, Y.-T., & Chao, W.-A. (2022). Performance Study of Landslide Detection Using Multi-Temporal SAR Images. *Remote Sensing*, 14(10), 2444. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs14102444>
- Shtohryn, L. V., & Kasiynchuk, D. V. (2024). Analysis of natural and man-made factors of landslide development in the Carpathian region using GIS. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, 5, 93–98. DOI: <https://doi.org/10.33271/nvngu/2024-5/093>
- Державна служба України з надзвичайних ситуацій. (2024, січень 29). *Довідка про основні надзвичайні ситуації техногенного, природного та іншого характеру на території Закарпатської області станом на 7:00 29 січня 2024 року*. <https://zk.dsns.gov.ua/uk/pres-centr/news/operational-information/dovidka-zadobu/dovidka-pro-osnovni-nadzvicaini-situaciyi-texnogennogo-prirodnogo-ta-insogo-xarakteru-na-teritoriyi-zakarpatskovi-oblasti-stanom-na-700-29-sicnia-2024-roku>