

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗМІЩЕНЬ ЗЕМНОЇ ПОВЕРХНІ МЕТОДАМИ СУПУТНИКОВОЇ ІНТЕРФЕРОМЕТРІЇ

О. Т. Азімов

доктор геологічних наук

О. О. Столяр

Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі ІГН НАН України,
01054, м. Київ, вул. О. Гончара, 55-б

У дослідженні демонструється потенціал радіолокаційних зображень, зокрема, отриманих за методом диференціальної інтерферометрії, для виявлення, моніторингу та оцінки зсувів на прикладі Одеського району. Робота вирішувала такі завдання: аналіз небезпеки зсувів, вибір методології дослідження, визначення критеріїв зсувоутворення на досліджуваній території, збір даних дистанційного зондування Землі, їх обробка за допомогою вказаного методу та оцінка впливу зсувів на розвиток території.

Ключові слова: небезпека зсувів, радіолокаційні зображення, диференціальна інтерферометрія, моніторинг зсувів.

RESEARCH OF GROUND SURFACE DISPLACEMENTS USING SATELLITE INTERFEROMETRY METHOD

O. T. Azimov¹

Doctor of Geological Sciences

O. O. Stoliar

Scientific Centre for Aerospace Research of the Earth of IGS, NAS of Ukraine

The study explores the potential of radar imagery, particularly the differential interferometry (DInSAR) method, for detecting, monitoring, and assessing landslides on the example of the Odesa region. It involves tasks such as analyzing landslide hazards, selecting research methodologies, defining study area criteria, collecting remote sensing of the Earth data, processing it using DInSAR, and assessing landslide impacts.

Key words: landslide hazards, radar imagery, differential interferometry, landslide monitoring.

Постановка проблеми й завдання. Вивчення процесів зсувів ґрунту є надзвичайно важливим завданням у зв'язку із різноманітними факторами, які спричиняють значну кількість зсувів щороку [12]. Ці явища призводять до розповсюджених руйнувань, економічних втрат і, що найважливіше, становлять серйозну загрозу для життя та добробуту людей. Зсуви можуть бути спричинені різними чинниками, такими як інтенсивні атмосферні опади, землетруси або антропогенна діяльність, включаючи будівництво та гірничу справу [4].

Наслідки цих явищ можуть бути катастрофічними, включаючи втрати серед населення, пошкодження інфраструктури та вимушені переселення людей.

Представлена робота спрямована на вивчення застосування радіолокаційних зображень для виявлення, моніторингу та оцінки процесів зсувів, застосовуючи метод диференційної інтерферометрії. Завдання, пов'язані з цим дослідженням, включають аналіз факторів ризику зсувів, вибір методології дослідження, визначення критеріїв для області, що вивчається, збір та обробку даних дистанційного зондування Землі (ДЗЗ), оцінку впливу зсувів на досліджувану територію [2].

Наукова новизна цієї роботи полягає у застосуванні радіолокаційної інтерферометрії для дослідження зсувів на локальній ділянці, розташованій в Одеському районі Причорномор'я, що для цієї території виконується уперше. Результати можуть бути використані для подальшого моніторингу зсувів, а також для прийняття рішень щодо мінімізації відповідних ризиків та евакуації населення у разі виникнення загрозованої зсувонебезпеки. Цей підхід дозволяє розширити розуміння процесів зсуву та покращити здатність боротися з наслідками цих природних явищ [5].

Теорія методу. Метод DInSAR є важливим інструментом, який застосовують для вимірювання деформацій земної поверхні. За останні роки метод став набагато ефективнішим завдяки використанню великих наборів синтетичних апертурних радіолокаційних (SAR) зображень [11]. Ці набори зображень, що отримані в одній і тій же області, забезпечують значне покращення порівняно з традиційними конфігураціями з двох зображень. У результаті DInSAR став надзвичайно потужним геодезичним інструментом для ефективного моніторингу деформацій земної поверхні під час розв'язання різних завдань [1].

При застосуванні методу DInSAR просторова розрізненість знімків повинна становити декілька метрів на піксел [7]. Основна ідея розробки полягає в отриманні диференційної інтерферометричної фази з двох чи більше радіолокаційних зображень, що створюють неперервне та детальне відображення деформації земної поверхні [6]. Цей підхід надає дослідникам можливість отримати цінні уявлення про динаміку руху земної поверхні, роблячи його невід'ємною частиною наукових досліджень [3].

Представлена робота зосереджена на досліджуваній локальній ділянці у Одеському районі поблизу села Фонтанка. Ця ділянка викликала інтерес через значний зсув, що стався в її межах у 2017 р. З метою ефективного вивчення та зрозуміння деформацій поверхні, пов'язаних із цією подією, були використані радіолокаційні зображення супутника Sentinel-1, які в подальшому були

оброблені за допомогою методу DInSAR [9]. Ця методологія надає точний та обґрунтований спосіб виявлення та кількісного вимірювання деформацій земної поверхні [10], сприяючи повнішому розумінню процесів зсувоутворення на околиці Фонтанки та допомагаючи приймати оптимальні та зважені управлінські рішення щодо зменшення ризику використання землі у цьому регіоні у подальшому.

Інтеграція передових методів ДЗЗ, таких як DInSAR, у дослідженнях на місцевому рівні в регіонах, схильних до зсувів, має великий потенціал для покращення здатності оцінювати та зменшувати впливи природних небезпек [8].

Викладення основного матеріалу дослідження. Отримані в результаті дослідження дані надають важливі відомості щодо наявності вертикальних деформацій земної поверхні. Проте їх якість не є задовільною для виявлення малих за своїм масштабом зсувів. Хоча встановлені виявлення вказують на наявність певних деформацій. Зрозуміло, що вони можуть не відображати важливих деталей, пов'язаних із геологічними процесами, які спричиняють початковий етап розвитку зсувів (рис. 1).

З метою покращення розуміння геологічних процесів потрібні подальші дослідження та покращення якості дистанційних даних. Вони можуть включати використання супутникових знімків з високим просторовим розрізненням для отримання детальнішої картини щодо динаміки рухів у межах місцевості, що розглядається. Крім того інтеграція даних з різних джерел та глибокий аналіз ландшафту можуть допомогти підвищити адекватність висновків і виявити приховані закономірності у проявах індикаційних ознак, що зумовлені малопримітними подіями у зв'язку з розвитком зсуву.

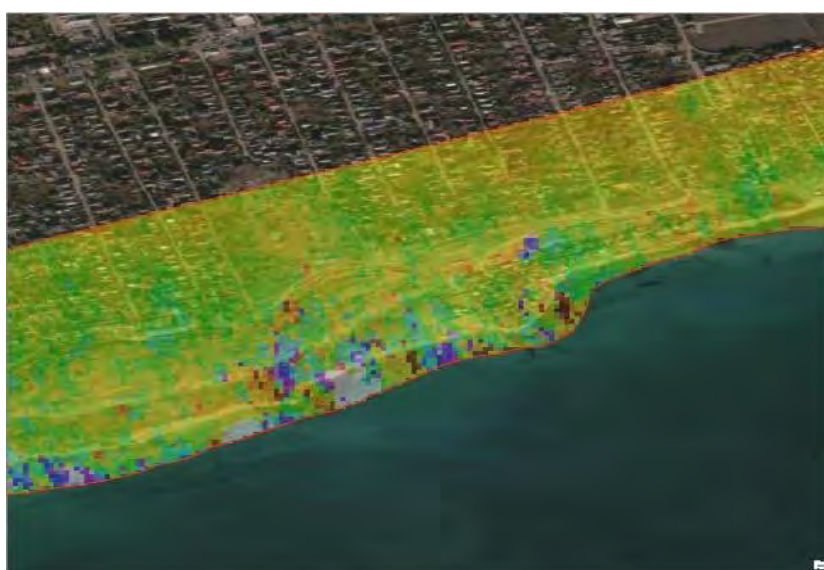


Рис. 1 Відображення зміщень, зареєстрованих під час переходу від фази до фази деформації

Підсумовуючи викладене зазначимо, що поліпшуючи якість та просторову розрізненість вхідних даних ДЗЗ, ми можемо краще підготувати себе до виявлення та моніторингу складних геологічних ризиків, пов'язаних із зсувними процесами, та сприяти зменшенню та управлінню можливими небезпеками у вразливих регіонах (рис. 2).



Рис. 2 Порівняння фази деформації (зліва) з оптичним зображенням (справа)

Висновки і перспективи робіт. Отримані на основі застосування супутникових знімків Sentinel-1 на підставі прийнятої методології результати свідчать про те, що досліджувана область дійсно має наявні вертикальні деформації земної поверхні. Побудована цифрова модель рельєфу території досліджень демонструє стан земної поверхні в її межах до та після зсуву, дозволяючи таким чином оцінити масштаб події. Проте детальний аналіз та оцінювання наслідків процесів зсуву вимагає використання космознімків з підвищеною просторовою розрізненістю, вищою ніж це забезпечує апарат Sentinel-1. Це ж стосується проблеми виявлення та оцінки розвитку зсуву на початковому етапі його існування. І потрібно відзначити, що такі радіолокаційні зображення існують, але для їх отримання необхідні додаткові фінансові інвестиції в дослідження.

Використання радіолокаційних знімків для визначення вертикальних деформацій поверхні Землі має свої обмеження. Особливо їх важко застосовувати під час атмосферних опадів у вигляді снігу. Однак радіолокаційні зображення та метод диференційної інтерферометрії мають великий потенціал

для вирішення низки завдань, пов'язаних із субвертикальними рухами земної поверхні.

Отже, дані радіолокаційних знімків супутника Sentinel-1 придатні для аналізу великомасштабних зсувів, які охоплюють обширні території. Супутники Sentinel-1 надають можливість проведення регулярних обстежень та отримання зображень для забезпечення постійного моніторингу певних ділянок, у межах яких є наявні зсуви або потенційно можуть утворюватися нові.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Anderson T. (2018). Radar imaging for landslide monitoring: A review of recent developments and future challenges. *Remote Sens.*, 10 (5), 766.
2. Azimov O.T., Rogozhin O.G., Trofymchuk O.M., Khrushchov D.P. (2021). Geoinformation support for the management of the localization objects of municipal solid waste. *Proc. 20th EAGE Int. Conf. on Geoinformatics – Theoretical and Applied Aspects (11-14 May 2021, Kyiv, Ukraine)*, 1–8. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.20215521169>
3. Azimov O.T., Shevchuk O.V. (2020). Geoinformation systems in monitoring studies of environmental pollution factors in the areas of municipal solid waste landfills. *Proc. 19th EAGE Int. Conf. on Geoinformatics – Theoretical and Applied Aspects (11-14 May 2020, Kyiv, Ukraine)*, 1–7. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2020geo111>
4. Brown R.W., Wilson, E.T. (2021). Landslide risk assessment and mitigation: A comprehensive approach. *Natural Hazards*, 83 (1), 67–88.
5. Chen L., Smith J.D., Johnson A.B. (2020). Monitoring landslide processes with advanced radar imagery: A case study in the Himalayas. *Int. J. Remote Sens.*, 41 (5), 1606–1627.
6. Davis, C. P., & Evans, M. J. (2019). Satellite-based differential interferometry for ground deformation monitoring: Principles and applications. *J. Geophys. Res.: Solid Earth*, 124 (6), 6017–6035.
7. Garcia L.M., Martinez F.D. (2020). Advances in synthetic aperture radar for landslide detection and monitoring. *Remote Sens. Environ.*, 237, 111606.
8. Huang S., Wu X. (2019). Applications of synthetic aperture radar in landslide monitoring: A review. *Int. J. Remote Sens.*, 40 (14), 5492–5516.
9. Jones P.Q., Brown A.K. (2020). Landslide hazard assessment using remote sensing and geospatial analysis. *Natural Hazards & Earth System Sci.*, 20 (2), 427–449.
10. Lee H., Kim S. (2018). Assessing landslide risk in hilly terrain using satellite remote sensing. *Environ. Earth Sci.*, 77 (7), 253.
11. Martin R.E. (2022). Integrating radar interferometry and optical imagery for landslide detection. *Remote Sens.*, 14 (3), 428.
12. Smith L.T. (2018). Radar interferometry for monitoring landslide processes: A case study in the Alps. *Natural Hazards & Earth System Sci.*, 18 (6), 1623–1637.