



**Ministry of Education and Science of Ukraine
Kyiv National University of Construction and
Architecture**

**Urban Planning and Architecture Department of Kyiv
City State Administration**

**Scientific research institute of Geodesy and cartography
Non-Governmental Organization "Ukrainian Union of
Certified Land-Management Engineers"
StateGeoCadastrе**

CONFERENCE PROCEEDINGS

**II INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND
PRACTICAL CONFERENCE
«LAND & PROPERTY DEVELOPMENT:
INNOVATIONS AND TRANSFORMATIONS»**

May 25-26, 2023

**Kyiv National University of Construction and Architecture
Kyiv Ukraine 2023**



НЕСТЕРЕНКО С.В.

*К.т.н., доцент, доцент кафедри автомобільних доріг, геодезії та землеустрою
Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»
м. Полтава*

INSAR ДЛЯ МОНІТОРИНГУ ДЕФОРМАЦІЙ ТЕХНОГЕННО-НАВАНТАЖЕНИХ ТЕРИТОРІЙ

Територія України насичена техногенно-навантаженими об'єктами та ділянками, за якими необхідний постійний контроль і геоматичний моніторинг для виявлення деформацій. Такі території мають істотний антропогенний вплив на навколишнє середовище, який пов'язаний зі змінами природного ландшафту з послідовними негативними наслідками, такими як забруднення територій різними викидами, виникнення техногенних екологічних кризових явищ тощо [1]. На техногенно-навантажених територіях важко виконувати постійний моніторинг класичними геодезичними методами. Традиційні технології геодезичного моніторингу, які полягають у застосуванні оптико-електронних вимірювальних засобів (тахеометри, дальноміри, нівеліри), включають великий об'єм польових вимірів, проведення вимірів у зимовий час при несприятливих кліматичних умовах ускладнене, а отже, знижується оперативність отримання вимірювальної інформації. Завдяки вдосконалення технологій збирання геопросторових даних дистанційними методами знімання зростає рівень точності, оперативності та отримання даних. Радарна інтерферометрія стала важливим інструментом у різноманітних дослідженнях: створення точних цифрових моделей рельєфу, моніторинг за невеликими зміщеннями земної поверхні тощо.

Мета – проаналізувати можливість використання супутникової радіолокації для моніторингу деформацій техногенно-навантажених територій, визначити переваги та недоліки різних інтерферометричних методів InSAR.

Для побудови карт зміщень техногенно-навантажених територій можна використовувати різні методи інтерферометричної обробки даних: диференціальну інтерферометрію DInSAR та метод постійних розсіювачів радарного сигналу PSInSAR. Методи досліджень деформацій земної поверхні за допомогою супутникової радіолокації здійснюються в програмному забезпеченні SNAP. Для роботи найчастіше використовуються радарні знімки, завантажені на вебплатформі Copernicus Open Access Hub, яка розроблена Європейським космічним агентством за програмою Copernicus. Програма SNAP також може обробляти знімки, завантажені на Vertex ASF Data Portal і SSARA [2].

Метод диференціальної інтерферометрії DInSAR застосовується для досліджень деформацій площинних поверхонь з метою виявлення невеликих відносних зміщень або деформацій із набору космічних знімків місцевості з подібною геометрією отримання зображення. Основними сферами застосування є моніторинг площинних зсувів (вулканів, землетрусів та інших поверхневих деформацій), але при моніторингу повільної деформації поверхні, наприклад, просідання окремих точок, вона зазнає впливу часової та космічної декореляції, атмосферної затримки [3].

Метод постійних розсіювачів радарного сигналу або метод стійких відбивачів PSInSAR є модернізацією диференціальної інтерферометрії DInSAR. Для аналітичних цілей цей метод використовує когерентні радіолокаційні цілі (кутикові відбивачі), які можна чітко розрізнити на всіх зображеннях і які не відрізняються за своїми властивостями. Використовуючи кутикові відбивачі (постійні розсіювачі), можна відфільтрувати атмосферні ефекти та усунути часову й геометричну декореляцію. На вибраному об'єкті досліджень вибирають достатню кількість точок зі стійкими відбивачами. Це можуть бути штучні споруди, будівлі, антени, відкриті гірські породи, які мають високу відбивну здатність і використовуються в ролі стійких відбивачів радарного сигналу. Результатом проведення аналізу фаз точок стають деформації PS точок. У

кінці використовується метод інтерполяції для визначення деформації всієї досліджуваної території.

Метод DInSAR має суттєві переваги: 1 – у регіонах, де деформації важко виміряти класичними наземними геодезичними методами, з невеликою кількістю вимірювань DInSAR дає просторову картину деформацій суцільних територій; 2 – вимірювання здійснюються у діапазоні довжин хвиль радара, що призводить до точності зміщення приблизно в 0,5 см. Недоліки даного інтерферометричного методу: 1 – DInSAR візуалізує деформацію площин, але має неточності у відображенні зміщень окремих точок; 2 – погана когерентність (фазове співвідношення між записами) впливає на послідовність, безперервність і точність спостережень через часову та геометричну декореляцію, результати можна отримати в кількох часових проміжках; 3 – диференціальний метод має обмеження, як зміни у відображенні об'єктів чи зон, атмосферні впливи та перешкоди сигналу; 4 – неоднозначні результати будуть на територіях з різноманітністю поверхні (поява тіней). Переваги й особливості методу PSInSAR: 1 – за допомогою постійних розсіювачів можна реєструвати зміну поверхні окремих точок, які повинні бути не видозмінюватися у часі; 2 – визначення вертикального зміщення методом PSInSAR повинно уточнювати результати GNSS-спостережень, які є дуже точними у горизонтальному напрямку та мають щільні вимірювання у часі, ці методи доповнюють один одного; 3 – висока просторова щільність даних – до 1000 PS/км.кв, що є перевагою відносно наземних методів, є можливість періодичного повторення вимірювань для великої області спостережень; 4 – висока точність отриманих результатів – до 0,1 мм; 5 – усуваються небажані атмосферні впливи, менш чутливий до геометрії отримання зображення, є можливість порівнювати знімки з великим часовим діапазоном.

Поряд із загальнодоступними супутниковими методами досліджень деформацій земної поверхні DInSAR і PSInSAR є комерційні пропозиції. SqueeSAR® – передова методика InSAR, запатентована TRE Altamira – компанією групи CLS, яка опрацьовує супутникові радіолокаційні зображення, щоб представити карти зміщення поверхні. Цей новий підхід забезпечує додаткові дані в умовах низького відбивання в однорідних областях. Деформація поверхні методом SqueeSAR® визначається з точністю до міліметрів. Недоліком цього методу є те, що супутникові сигнали не повертаються на ділянках зі значним рослинним покривом [4].

Висновки. Аналіз переваг і недоліків методів InSAR та традиційних наземних геодезичних методів показав, що найефективнішим використанням радіолокаційних спостережень на техногенно-навантажених територіях є спільне опрацювання різних технологій досліджень шляхом створення комплексних систем моніторингу деформацій земної поверхні.

Список літератури.

1. Нестеренко С.В., Шарий Г.І., Трифонова А.С. Екологічні загрози на техногенно-навантажених територіях Центральної та Східної України. *III Міжнародна науково-практична конференція «Формування сталого землекористування: проблеми та перспективи»*, НААН України, Інститут землекористування, Київ, 17-18.11.2022. С. 30–32.
2. Nesterenko S., Kliepko A. Geodetic monitoring of the Kaniv HPP dam using satellite radar. *International Scientific and Technical Conference of Young Professionals GeoTerrace–2022. European Association of Geoscientists & Engineers, 2023. Vol. 2022. P. 1-5.*
3. Дорожинський О. Л., Тукай Р. Фотограмметрія. Л.: Вид-во НУ «Львівська політехніка», 2008. 332 с.
4. Ferretti A., Fumagalli A., Novali F., Prati C., Rocca F., Rucci A. A New Algorithm for Processing Interferometric Data-Stacks: SqueeSAR. *Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 2011. Vol. 49. P. 3460–3470.