

и программных средств, так и практическую реализацию предложенного подхода. Этот подход, с успехом применялся и применяется авторами в нескольких исследовательских проектах. Его гибкость, благодаря реализации на расширяемом языке программирования R, позволяет как дополнять пространственные данные различными статистическими наборами (как общедоступными, так и собранными в ходе исследований), так и применять широчайший круг инструментов статистики и пространственного анализа. В частности, авторы успешно выполняли на упомянутых наборах данных расчет нескольких видов весовых матриц соседей и применяли методы анализа пространственной автокорреляции с некоторыми видами индексов Морана и Гири.

#### Список литературы

1. G. Bielcheva N. Makogon N. Manakova (2016) Developing a user-oriented approach to selection of geospatial data based on fuzzy logic. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies* ISSN 1729- 3774, 4/3 (82) pp: 38-45. DOI: 10.15587/1729-4061.2016.75514 , EID: 2-s2.0-85008255917
2. Saligoe-Simmel Jill. *Natural Earth Data: Worldwide GIS Maps*. September 15, 2012/in *Cartography & Graphics*, <http://drjill.net/natural-earth-data-map-vector-gis/>
3. "First Look at Natural Earth Vector" <http://kelsocartography.com/blog/?p=2502>
4. Jiang, B., & Thill, J.-C. (2015). Volunteered geographic information: Towards the establishment of a new paradigm. *Computers, Environment and Urban Systems*, 53, 1–3.
5. Roger S. Bivand, Edzer Pebesma, Virgilio Gómez-Rubio. "Applied Spatial Data Analysis with R". Springer, 2013

УДК 528.04

### ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТЕЙ РАДАРНИХ СУПУТНИКОВИХ ДАНИХ ДЛЯ ГЕОДЕЗИЧНОГО МОНІТОРИНГУ

М.Ю. Пакшин<sup>1</sup>, І.І. Ляска<sup>1</sup>, К.О. Бурак<sup>2</sup>, В.М. Ковтун<sup>3</sup>, Л.І. Дорош<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Центр прийому і обробки спеціальної інформації та контролю навігаційного поля  
32444, с. Залісці, Дунаєвецький р-н, Хмельницька обл., E-mail: [ivanliaska@hotmail.com](mailto:ivanliaska@hotmail.com)

<sup>2</sup>Івано-Франківський національний університет нафти і газу, доктор технічних наук, професор, завідувач  
кафедри інженерної геодезії, E-mail: [burak.cost@yandex.ua](mailto:burak.cost@yandex.ua)

<sup>3</sup>Івано-Франківський національний університет нафти і газу, асистент кафедри інженерної геодезії,  
E-mail: [rjdneuy@gmail.com](mailto:rjdneuy@gmail.com)

<sup>4</sup>Івано-Франківський національний університет нафти і газу, аспірант кафедри інженерної геодезії  
E-mail: [liubov.dorosh@gmail.com](mailto:liubov.dorosh@gmail.com)

#### І. Постановка проблеми

В останні десятиріччя в дистанційному зондуванні Землі для розв'язання найрізноманітніших завдань як господарського, так і наукового характеру використовують зображення, отримані не тільки в оптичному, а й в радіодіапазоні, що викликало справжню революцію в можливостях інтерпретації зображень [1].

Серед областей застосування даних (тематичної обробки) супутникової радарної інтерферометрії можна виділити [2, 6]:

- створення ЦМР, у тому числі високоточних (з просторовим дозволом близько метра і точністю визначення висоти близько 1-2 метрів);
- вимірювання деформацій поверхні, що відбиває з точністю порядку частки довжини хвилі радара, зокрема:
  - моніторинг землетрусів;
  - моніторинг вулканічної активності;
  - моніторинг зсувонебезпечних ділянок;
  - виявлення осідань, деформації споруд;
  - моніторинг руху поверхні моря;
- високоточні вимірювання затримки радіосигналів в атмосфері (безпосередньо пов'язаної з розподілом в атмосфері водяної пари).

В даний час моніторинг деформаційних процесів великих територій здійснюється, як правило, традиційними маркшейдерсько-геодезичними методами, такими як високоточне нівелювання і високоточні супутникові спостереження. Слід зазначити, що ці методи, будучи свого роду

еталонними, вимагають великих матеріальних витрат. Крім того, оперативність отримання інформації на основі даних методів є досить низькою, тому що для отримання динаміки розвитку деформаційних процесів слід дотримуватися постійних серій спостережень і постійній постобробці результатів.

## II. Мета роботи

Нормативним документом, який встановлює необхідність виконання геодезичного моніторингу при будівництві та експлуатації будівель і споруд є ДБН 2010 року [7]. Згідно вказівок даного документу методи і точність геодезичних вимірів при моніторингу встановлюється згідно ДСТУ 2014 [8], зокрема точність вимірювання горизонтальних і вертикальних деформацій в залежності від очікуваної величини деформації може бути в границях від 1 до 15 мм. Методи радарної інтерферометрії у цих документах не передбачені, хоча вони мають безперечні переваги перед традиційними методами, а саме: в оперативності, вимагають набагато менших трудозатрат і відповідно їх вартість нижча. Область їх застосувань при геодезичному моніторингу залежить від точності вимірів деформації. Тому метою даного дослідження є встановлення можливостей використання радарних інтерферометричних методів для геодезичного моніторингу.

## III. Виклад основного матеріалу дослідження

Основними обмежуючими факторами РСА - інтерферометрії є часова і просторова декореляції і атмосферні неоднорідності. Вплив зазначених факторів дозволяють різко послабити сучасні модифікації інтерферометричних методів (такі, як метод постійних відбивачів, PS [4-6], і метод малих базових ліній, SBAS), засновані на спільному використанні довгих тимчасових серій зображень. Можливість такої обробки реалізована, наприклад, в програмному комплексі SARscape (Exelis VIS, США) [9]. В модулі SARscape Interferometric Stacking представлено дві технології інтерферометричного опрацювання багатопрхідних серій радарних знімків: Persistent Scatterers Interferometry (Інтерферометрія постійних відбивачів радарного сигналу) і Small Baseline Series Interferometry (Інтерферометрія серій радарних знімків з малою взаємною базовою лінією).

При дослідженні повільних і малих деформацій часто корисний сигнал на інтерферограмі буває неможливо виділити на тлі великої кількості перешкод. Це атмосферні ефекти, неточне знання орбіт і цифрової моделі рельєфу, апаратурні (термічні) шуми. Для вирішення цієї проблеми були розроблені методи стійких відбивачів (PS) [6], засновані на використанні не окремих пар, а серій знімків, на яких виділяються об'єкти, які характеризуються достатньою сталістю характеру зворотного розсіювання. В рамках методу виконується аналіз часових рядів зсувів, з'являється можливість фільтрувати високочастотні за часом перешкоди, мінливі від знімка до знімка. Це дозволяє істотно пригнічувати не тільки апаратурні шуми, а й атмосферні, і орбітальні похибки. При сприятливих умовах метод стійких відбивачів дозволяє оцінювати зміщення земної поверхні або техногенних об'єктів з точністю до декількох міліметрів [6]. У зв'язку з цим у даній роботі ми використали метод постійних відбивачів PS.

**Результати досліджень.** Об'єктом дослідження було обрано будівлю корпусу №5 ІФНТУНГ, якому понад 50 років, з практики відомо, що найбільші осідання споруд відбуваються в період перших *п'яти* років від здачі в експлуатацію. В силу того, що корпус №5 ІФНТУНГ було зведено на стійких та надійних ґрунтах, а саме на гравійній подушці і можна стверджувати, що обрана для досліджень будівля є стійкою та надійною, без суттєвих деформацій.

У період з 12 по 15 лютого 2016 року у відділі (науково-випробувальному) обробки інформації ДЗЗ ЦПОСІ та КНП було проведено дослідження вертикальних зміщень будівлі корпусу №5 ІФНТУНГ за даними супутникової радіолокаційної зйомки. Для встановлення точності розробленого способу отримання вертикальних рухів, отримані результати досліджень були порівняні з даними перманентної станції FRKV, яка входить в мережу перманентних станцій System Solution.

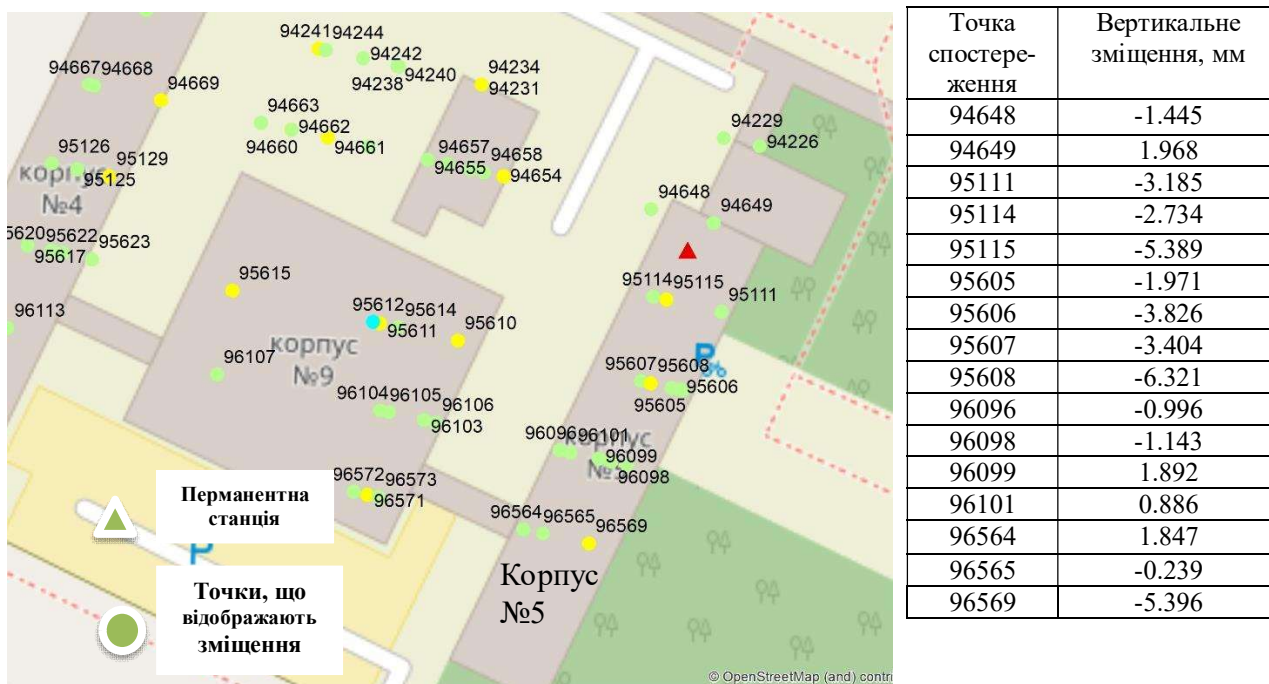


Рис. 1. Розміщення постійних стабільних відбивачів радарного сигналу та їх вертикальних зміщень

Розрахунок зміщень проводився з використанням інтерферометричного опрацювання масиву даних з 30 радіолокаційних знімків з КА Sentinel-1 за період 15.05.2015 - 24.10.2016.

Результатом опрацювання даних став векторний файл, що містив точки, які характеризують динаміку деформацій споруди. В цих точках алгоритм знаходив постійні стабільні відбивачі радарного сигналу, які є основними елементами у методі обробки радарних даних. В кожній точці розраховувалися вертикальні зміщення об'єкта за період з 15.05.2015 по 14.10.2016 року. Вертикальні зміни в часі висоти постійного відбивача розраховані на кожну дату зйомки відносно першого знімка.

Результати досліджень:

- Зміна висоти перманентної станції за даними ІФНТУНГ складає -9,7 мм між 10 листопада 2015 (305,7699м, висотна точність 7,5мм) та 22 березня 2016 року (305,7602м, висотна точність 6,6мм).
- Розраховані вертикальні зміщення зони інтересу ІФНТУНГ між двома датами 11.11.2015 та 03.04.2016 в ЦПОСІ та КНП (похибка яких складає 6 мм). Результати представлені на рис. 1 у міліметрах (відображені точки, де проведені виміри за допомогою радіолокаційних даних).

Використовуючи дані середньодобової температури були розраховані температурні деформації штанги-опори антени перманентної станції (Рис.2).

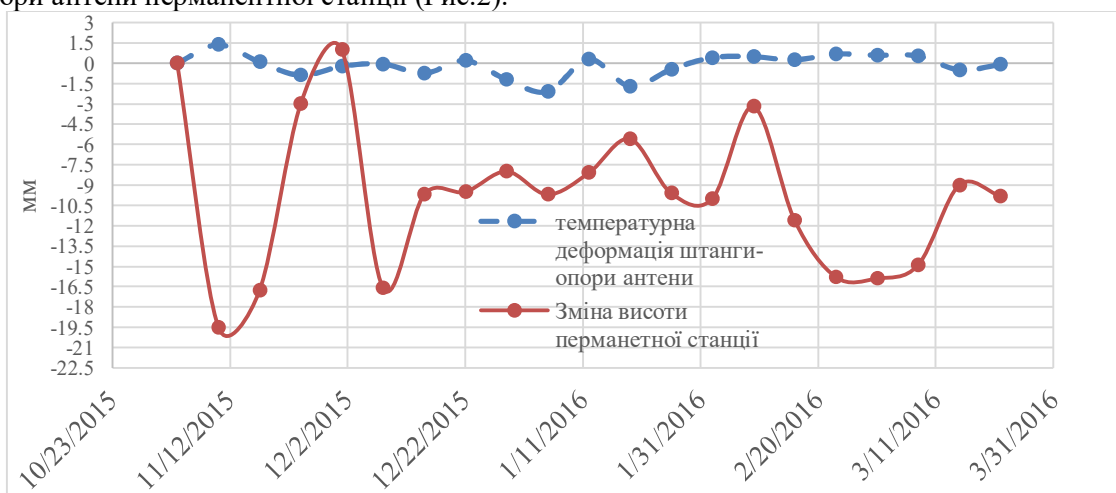


Рис. 2 Графік зміни висоти перманентної станції FRKV та температурного розширення штанги-опори антени перманентної станції

Проаналізувавши отримані дані були встановлені кореляційні зв'язки між температурним розширенням штанги та зміною висоти станції FRKV. Коефіцієнт кореляції Спірмена який характеризує не параметричні, криволінійні залежності становить  $-0,517$ , що вказує на середню залежність при амплітуді зміни температур за період спостережень –  $20,25$  градусів.

#### IV. Висновки

На основі проведених досліджень було встановлено вертикальне зміщення  $6$  мм, в порівнянні зі значеннями отриманими з даних GNSS спостережень ( $9$  мм), окреслюється можливість використання даного методу для моніторингу деформацій споруд, а також визначення осідань.

Використання методу PS радарної інтерферометрії має ряд переваг: мінімальні затрати часу і коштів, оперативність, швидкий збір картографічної інформації.

#### Список літератури

1. Радиолокационные системы землеобзора космического базирования / В. С. Верба, Л. Б. Неронский, И. Г. Осипов, В. Э. Турук. М. : Радиотехника, 2010.
2. Тревого І. застосування радарів із синтезованою апертурою для високоточного геопросторового моніторингу / І. Тревого, А. Горб, О. Мелешко / Сучасні досягнення геодезичної науки та ви-робництва: зб. наук. праць. – 2017. – № 33. – С. 44 – 46.
3. Феоктистов А.А., Захаров А.И., Денисов П.В., Гусев М.А. Перспективы разработки комплексинтерферометрической и дифференциально-интерферометрической обработки данных российских космических радиолокаторов с синтезированной апертурой // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса: Сб. науч. ст. – М.:ООО «ДоМира», 2011. – Т. 8. – Номер 2. – С. 310-317.
4. Ferretti A., Prati C. and Rocca F., 2000. Nonlinear subsidence rate estimation using permanent scatterers in differential SAR interferometry // IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 38, pp. 2202-2212.
5. Ferretti A., Prati C. and Rocca F., 2001. Permanent scatterers in SAR interferometry // IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 39, pp. 8-20.
6. Method of Persistent Scatterer Pairs (PSP) and High Resolution SAR Interferometry / M. Costantini, S. Falco, F. Malvarosa et al. // IGARSS. 2009. № 3. P. 904–907.
7. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://images.mofcom.gov.cn/ua/201706/20170615150136949.pdf>
8. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://www.afo.com.ua/doc/DBN\\_A.2.2-3-2014.pdf](http://www.afo.com.ua/doc/DBN_A.2.2-3-2014.pdf)
9. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://www.harrisgeospatial.com/docs/pdf/sarscape\\_5.1\\_help.pdf](https://www.harrisgeospatial.com/docs/pdf/sarscape_5.1_help.pdf)

УДК 332.365:528.46

## КОНЦЕПЦІЯ МІСЬКОЇ КОНФІГУРАЦІЇ ЗЕМЕЛЬНИХ ДІЛЯНОК

Пеньков В. О.<sup>1)</sup>, Кінь Д. О.<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова, kondanil24@gmail.com

### I. Постановка проблеми

Сучасний варіаційний ряд конфігурацій зареєстрованих земельних ділянок дуже великий та містить різні характеристики контурів меж, що повинні враховуватись землевпорядниками при проектуванні ділянок певного цільового призначення.

Концепція міської конфігурації земельних ділянок будується на основному положенні: в містах вплив складної конфігурації на загальну якість значно менший, ніж у земель сільськогосподарського призначення, а попит на такі ділянки значно більший, і визначається ще рядом чинників, не притаманних землям сільськогосподарського призначення, окрім конфігурації. Априорі це положення підтверджується наявністю значної кількості ділянок, конфігурація яких далека від оптимальної у класичному розумінні.

Концепція міської конфігурації розглядає один із таких аспектів: яка б не була конфігурація земельної ділянки, при відповідному доцільному цільовому призначенні, вона відповідатиме оптимальному використанню земельних ресурсів. Зважаючи на різні рівні економічного розвитку сіл та міст та ряд інших чинників, ділянки однакові за площею та конфігурацією, не є рівноцінними. Неоднорідність чинників, що впливають на якість земельних ділянок у населених пунктах сприяє виникненню проблеми оптимального використання земель.