

УДК 528.482.4

## КОМПЛЕКСНЕ ЗАСТОСУВАННЯ ДАНИХ ГНСС-СПОСТЕРЕЖЕНЬ І СУПУТНИКОВОЇ РАДІОЛОКАЦІЇ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ДИНАМІКИ РУХІВ ПРИДНІПРОВСЬКОЇ НИЗОВИНИ

Канд. техн. наук С.В. Нестеренко, канд. техн. наук Р.А. Міщенко.

## INTEGRATED APPLICATION OF GNSS AND SATELLITE RADAR DATA TO DETERMINE THE DYNAMICS OF MOVEMENTS OF THE DNIPRO LOWLAND

PhD (Tech.) S. Nesterenko, PhD (Tech.) R. Mishchenko.

*Анотація.* Шляхом комплексного застосування ГНСС–спостережень та диференціальної інтерферометрії DInSAR визначена динаміка вертикальних рухів земної кори Придніпровської низовини. Застосована методологія дослідження дозволила визначити масштаби та напрямки вертикальних рухів, що має важливе значення для прогнозування можливих геологічних змін та оцінки їхнього впливу на інфраструктурні об’єкти регіону. Отримані результати можуть бути використані для розробки рекомендацій щодо безпечного ведення видобувних робіт та планування розміщення важливих інженерних споруд.

*Ключові слова:* вертикальні зміщення, ГНСС–станції, ГНСС–спостереження, InSAR, диференціальна інтерферометрія, супутникова радіолокація, Придніпровська низовина.

*Abstract.* The study of vertical movements of the earth's crust in the Dnipro Lowland, carried out through the integrated use of GNSS observations and differential interferometry DInSAR, has provided data on the dynamics of geological processes in the region.

The surface deformations were monitored at the permanent network points (GLSV, CNIV, PRYL, POLV, DNMU, ZPRS, SMLA). GNSS data were used for each station, each of which is part of the European EPN network. Deformation processes were additionally checked by differential interferometry DInSAR. We used 208 C-band SLC IW images acquired from the Sentinel-1 satellite in 2021. The radar images were uploaded to the Vertex (ASF) web platform. Vertical displacements were calculated using SNAP software. Differential interferograms were created sequentially on the basis of two radar images relative to the reference image taken at the beginning of the measurement epoch and the comparison image with which the interference was performed. To ensure the accuracy of the interferometric analysis, the reference and comparison images were selected with similar geometric conditions and with a time interval of multiples of 12 days. Changes were recorded for a single pixel that fell on a point of the permanent network.

The applied research methodology allowed us to determine the scale and direction of vertical movements, which is important for predicting possible geological changes and assessing their impact on the region's infrastructure facilities. It was found that the territory of the Dnipro Lowland is characterized by various indicators of vertical displacements of the earth's surface, which are associated with both natural tectonic processes and anthropogenic impact, in particular, hydrocarbon production and constant shelling. The results obtained can be used to develop recommendations for safe mining operations and planning the location of important engineering structures.

**Keywords:** vertical displacements, GNSS–stations, GNSS–observations, InSAR, differential interferometry, satellite radar, Dnipro Lowland.

**Вступ.** Земна кора перебуває у постійному русі, що призводить до глобальних та локальних трансформацій клімату, геологічних структур та ландшафту. Інтенсивні тектонічні процеси спричиняють деформації гірських порід, формуючи складчасті структури, розломи, а також синеклізи й антеклізи [1]. Поступові горизонтальні зміщення, зумовлені рухом літосферних плит, відповідають за утворення гірських систем та океанічних улоговин. Паралельно з цим, повільні вертикальні рухи викликають диференційовані зміни рельєфу: одні ділянки земної поверхні піднімаються, тоді як інші зазнають опускання. Досліджуючи такі рухи можна прогнозувати динаміку зміни геофізичного поля будь-якого регіону.

У контексті триваючої війни з Російською Федерацією, Придніпровська низовина набуває особливого стратегічного значення для України. Фронтна лінія, що проходить вздовж цієї геоморфологічної структури, характеризується високою динамічністю та потенціалом значного техногенного впливу на екосистему басейну Дніпра. Придніпровська низовина відзначається інтенсивною експлуатацією покладів вуглеводневої сировини. На цій території здійснюється масштабний промисловий видобуток нафти, газу та інших вуглеводневих ресурсів, що становить важливу складову енергетичного сектору регіону. Зважаючи на ці обставини, дослідження динамічних процесів Придніпровської низовини стає надзвичайно актуальним завданням у рамках даної наукової роботи.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Наукові дослідження, спрямовані на вивчення динаміки руху земної кори, провадять такі видатні вчені як К.Р. Третяк [2, 3], І.Р. Савчин [4], Kowalczyk, K. [5], Ab.G. Rzayev, S.R. Rasulov [6], Hawkesworth, C. J., & Brown, M. [7] та інші. При визначенні горизонтальних рухів земної кори Європи науковцями Третяк К.Р., Вовк А.І. було використано результати опрацювання часових серій для ГНСС-станцій території Європи близько 170 станцій [8]. Для підвищення точності Brockmann E., Ineichen D., Marti U., Schaer, S., Schlatter A., Villiger A. порівняли результати двох методів GNSS-вимірювань і нівелювання для визначення вертикальних переміщень тектонічно-активних територій Швейцарії [9]. У статті [10] виконано аналіз часових рядів руху і оцінку річних швидкостей

ГНСС–станцій. Вивченням локальних геодинамічних явищ методами наземної і космічної геодезії тривалий час займаються спеціалісти Полтавської гравіметричної обсерваторії Інституту геофізики НАН України імені С.І. Субботіна В.Г. Павлик, А.М. Кутний, Т.М. Бабич [11–12], Л.Я. Халявіна [13]. Науковці з різних держав працюють над створенням методологій встановлення переміщень опорних пунктів та проведення геодезичного спостереження за визначеними територіями, структурами й інженерними об'єктами. У своїх дослідженнях вони комбінують різноманітні наземні та дистанційні геодезичні технології, розробляють прогностичні та моделюючі підходи для відстеження зміщень і деформацій, а також ідентифікують ключові фактори, що зумовлюють динамічні процеси в досліджуваних об'єктах.

**Визначення мети та завдання дослідження.** Метою цієї роботи є визначення вертикальних рухів земної кори Придніпровської низовини за даними ГНСС–спостережень і диференціальної інтерферометрії DInSAR.

Дане дослідження спрямоване на аналіз та кількісну оцінку вертикальних зміщень земної кори в межах Придніпровської низовини. Для досягнення цієї мети застосовуються два ключові методи: обробка даних ГНСС–спостережень та використання технології диференціальної інтерферометрії DInSAR. Комбінація цих підходів дозволяє отримати комплексну картину вертикальних рухів досліджуваної території.

**Методика.** Моніторинг деформацій поверхні Придніпровської низовини здійснено за пунктами перманентної мережі (GLSV, CNIV, PRYL, POLV, DNMU, ZPRS, SMLA). Всі станції входять до складу європейської мережі EPN (EUREF Permanent GNSS Network). Дані ГНСС–спостережень по кожній станції отримано на сайті EPN [14] на період 2021 року (епоха 2139 – 2190) і 2023 року (епоха 2243 – 2294).

Деформаційні процеси додатково перевірялися методом диференціальної інтерферометрії DInSAR. Використано 208 висхідних знімки на частоті С–діапазону в режимі SLC IW, отримані із супутника Sentinel–1 за 2021 рік. Радарні знімки завантажено на вебплатформі Vertex (ASF) [15]. Розрахунок вертикальних зміщень здійснювався у програмному забезпеченні SNAP [16]. Диференціальні інтерферограми створювалися послідовно на основі двох радарних знімків відносно опорного (master) зображення, виконаним на початок епохи вимірів, і порівняльного (slave), з яким проводилася інтерференція. Для точності інтерферометричного аналізу опорний і порівняльний зображення обрані зі схожими геометричними умовами і з часовим інтервалом кратним 12 днів. Фіксація змін визначалася по окремому пікселю, який припадав на пункт перманентної мережі.

**Основна частина дослідження.** Придніпровська низовина розміщена на лівобережжі Дніпра, у межах Чернігівської, Сумської, Полтавської та частково Київської, Черкаської, Дніпропетровської і Харківської областей. Висота над рівнем моря становить 50 – 160 м, найбільша 236 м, ширина до 120 км [17]. На даній території станом на 2025 рік в південній частині Придніпровської низовини проходить лінія розмежування між тимчасово окупованими та

контрольованими територіями (рис. 1). Вся територія низовини піддається обстрілам, що може провокувати активні геодинамічні процеси в земному тілі.

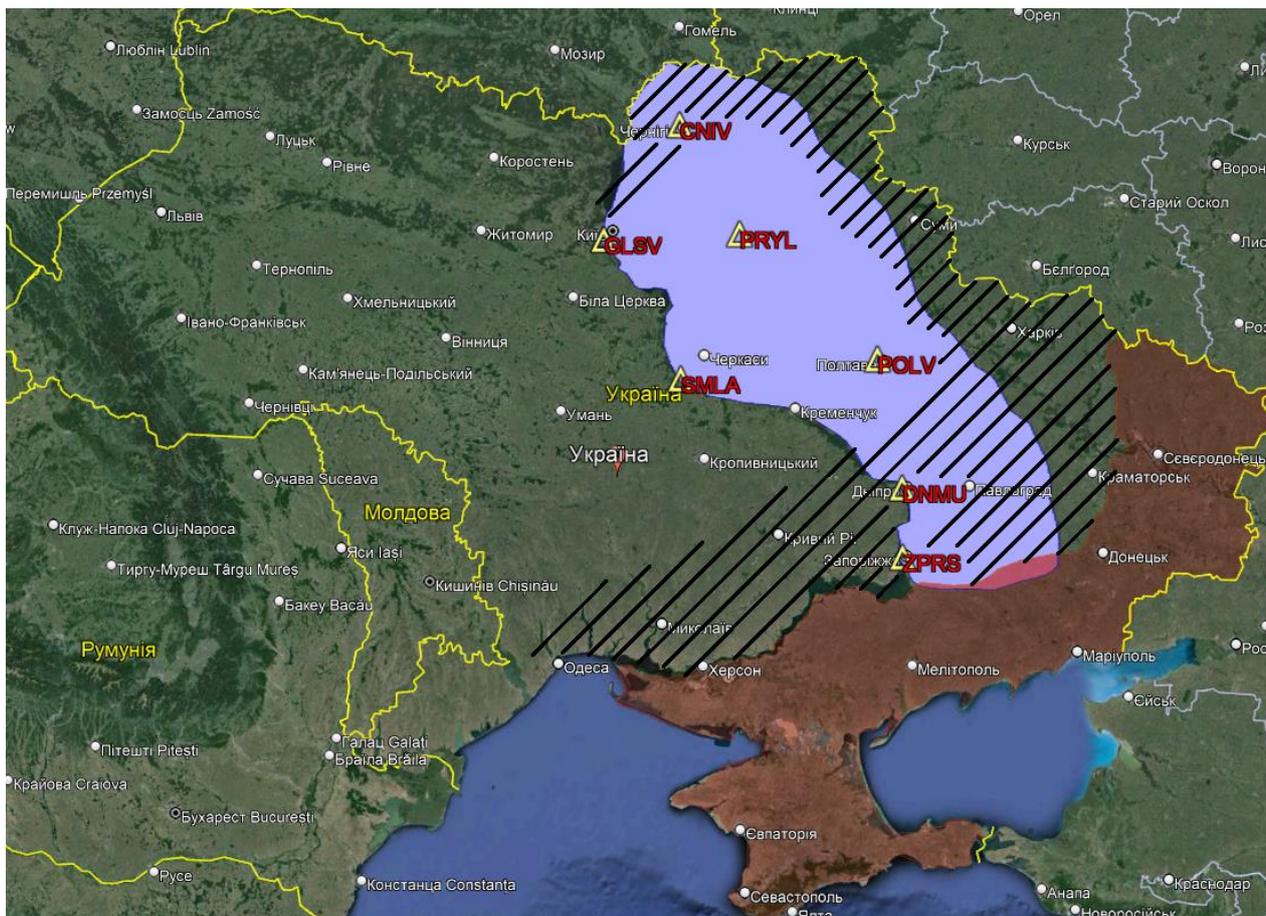


Рис. 1. Місцерозташування Придніпровської низовини на карті України (блакитним), пунктів ГНСС–станцій, які обрані для досліджень; напівпрозорим червоним – окупована територія, штриховою – територія, яка піддається інтенсивним обстрілам

Територія Придніпровської низовини багата на мінеральні ресурси. Серед наявних покладів корисних копалин тут зосереджені вуглеводневі сполуки (нафта, природний газ та конденсат), мінеральна сировина (граніт, залізна руда), а також будівельні матеріали (глина, пісок). Крім того, в регіоні присутні родовища бішофіту та ряд інших цінних мінеральних ресурсів (рис. 2). Основні поклади вуглеводнів України сконцентровані в трьох адміністративних регіонах – Полтавській, Харківській та Сумській областях, які забезпечують 90% загальнодержавного видобутку нафти та природного газу. Ці території формують ключовий нафтогазоносний район країни, де зосереджена переважна більшість видобувних потужностей держави.

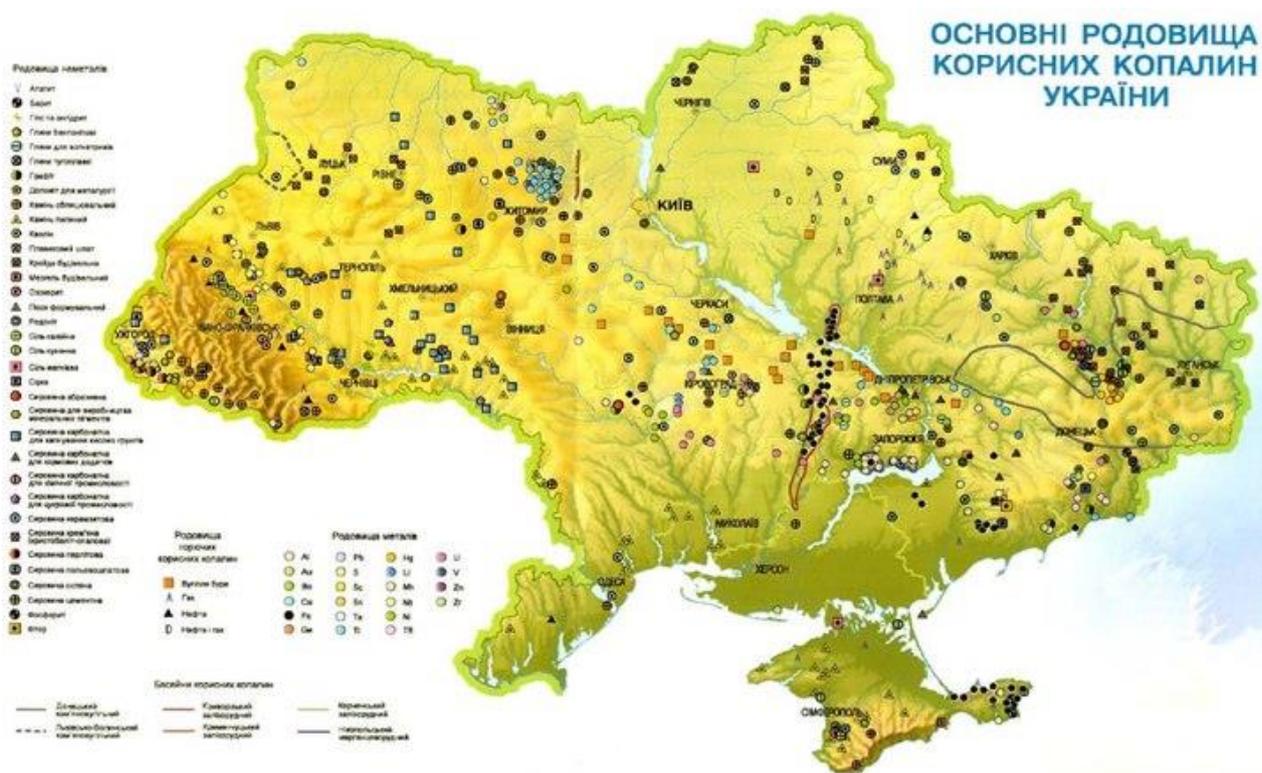


Рис. 2. Оглядова геологічна карта України [18]

Спостереження за геодинамічними процесами в Придніпровській низовині здійснено за супутниковими даними ГНСС-станцій, які відстежуються операційними центрами в режимі реального часу. Для оцінки вертикальних рухів було обрано сім пунктів перманентної мережі, що розташовані на ній: GLSV «Київ/Голосіїв», CNIV «Чернігів», PRYL «Прилуки», POLV «Полтава», DNMU «Дніпро», ZPRS «Запоріжжя», SMLA «Сміла» (рис. 1). Геодезичні пункти належать різним операторам: ГАО НАН України, ПрАТ «Систем Солюшнс» (мережа System.NET), Науково-дослідному інституту геодезії і картографії (УПІМ ГНСС), Національному центру управління та випробувань космічних засобів (Система Координатно-часового і Навігаційного Забезпечення України) (табл. 1).

Анени ГНСС-станцій розміщені на дахах будівель (рис. 3). Стабільність планово-висотного положення антен забезпечується надійним кріпленням до стабільних, нерухомих в процесі експлуатації, основ [19].

Усі вище перелічені ГНСС-станції входять до Європейської мережі EPN (EUREF Permanent GNSS Network). Станції EPN (IGS) є джерелом високоточних координат в загальноземних системах координат WGS-84/ITRF-XXXX/IGb. Точність реалізації цих координат становить 3–5 мм і менше 1 мм/рік для швидкості їх зміни [20]. Дані зміщень станцій у вертикальному напрямі на період 2021 року (епоха 2139 – 2190) і 2023 року (епоха 2243 – 2294) роки взято на сайті EPN [14].

Таблиця 1

Коротка характеристика ГНСС–станцій, що розташовані на Придніпровській низовині

ГНСС-станції	Місце знаходження	Координати Н, м	Включено до мережі		Оператор
			IGS	EPN	
1	2	3	4	5	6
GLSV	Головна астрономічна обсерваторія НАН України, м. Київ	226,316	з 06.05.1998	з 10.05.1998	ГАО НАНУ
CNIV	Чернігівський державний інститут економіки та управління, м. Чернігів	175,976	–	з 29.10.2006	System.NET
PRYL	Прилуцька державна районна адміністрація, м. Прилуки	172,482	–	з 20.02.2017	УПМ ГНСС
POLV	Полтавська гравіметрична обсерваторія Інституту геофізики ім. С. І. Субботіна НАН України, м. Полтава	178,367	з 27.06.2001	з 09.09.2001	УПМ ГНСС
DNMU	м. Дніпро	174,624	–	з 20.02.2017	УПМ ГНСС
ZPRS	м. Запоріжжя	93,613	–	з 29.04.2018	СКНЗУ
SMLA	ДП «Оризон-Навігація», м. Сміла	183,054	–	з 01.11.2009	УПМ ГНСС



GLSV «Київ/Голосіїв»



CNIV «Чернігів»



PRYL «Прилуки»



POLV «Полтава»



DNMU «Дніпро»



ZPRS «Запоріжжя»



SMLA «Сміла»

Рис. 3. Загальний вигляд приймальних антен ГНСС–станцій Придніпровської низовини

Вертикальні зміщення Придніпровської низовини, зокрема точок ГНСС-станцій, контрольно визначалися за допомогою радіолокаційних спостережень технологією дистанційного зондування InSAR. Технологія базується на використанні двох або більше радіолокаційних знімків, зроблених з однакових або близьких положень, в різні моменти часу. InSAR використовується для створення високоточних тривимірних моделей поверхні землі та моніторингу змін висоти земної поверхні з часом. У результаті диференціальної інтерферометрії (DInSAR) – аналізу інтерференції між двома знімками – можна виявити найменші вертикальні зміни поверхні. Ця технологія включає кілька етапів. Спочатку формуються інтерферограми, які показують різницю фаз між двома радіолокаційними знімками. Інтерферометрична фаза залежить лише від різниці в траєкторіях руху від супутника до кожного пікселя. Потім відбувається перетворення інтерферограми в безперервну карту зміщень. Ортотрансформоване зображення отримується шляхом перетворенням радіанів в абсолютні зміщення у метрах з корекцією рельєфу за координатами [21]. На етапі обробки знімків застосовано інструменти і фільтри для зменшення шумів з метою покращення інтерферометричних результатів.

Опрацюванню підлягали космічні знімки, що покривали задану територію, отримані супутником Sentinel-1 через кожні 12 днів протягом 2021 року. Побудова карт вертикальних зміщень показали наявність аномальних значень для деяких супутникових знімків. За [22] виявлено складні метеорологічні умови на зазначені дати в даній місцевості. На картах зміщень наявність атмосферних шумів спотворює зображення, спостерігається вплив атмосферних процесів і умов погоди на зниження якості результатів вимірювання. Моніторинг деформацій в несприятливих умовах дає похибки отриманих результатів, проблеми посилюються наявністю опадів протягом тривалих періодів часу. Тому такі виміри оцінені як грубі помилки і видалені із загального ряду вимірювань.

У диференціальній інтерферометрії DInSAR вертикальні зміщення оцінюються як усереднені значення по пікселю розміром  $10 \times 10$  м. Тому неможливо визначити локальні коливання ГНСС-станції, але можна порівняти загальну тенденцію руху точки перманентної мережі з даними супутникової радіолокації (рис. 4). Результати визначення вертикальних швидкостей руху контрольних пунктів ГНСС-станцій за 2021 рік за даними GNSS та радіоінтерферометричних вимірів наведено в табл. 2.

Середнє значення різниць  $\Delta$  за 2021 рік складає  $\Delta_{avg} = +0,2$  мм/рік. З таблиці 2 видно, що істинна похибка вимірювань  $\Delta$  найбільша на пунктах DNMU (м. Дніпро), ZPRS (м. Запоріжжя). Відхилення можуть бути проявом впливу факторів на інтерферометричні виміри, таких як затримка сигналу через тропосферні затримки, орбітальні або топографічні помилки, трансформаційний зсув вертикальних швидкостей точок (пікселів) з системи координат LOS до WGS-84, просторова та часова декореляція. Необхідно враховувати і те, що приведені вертикальні швидкості за інтерферометричними даними відповідають найближчому пікселю розташованому відносно

контрольного пункту. Зростання значень вертикальних швидкостей можуть свідчити про нестабільність в південній частині Придніпровської низовини.

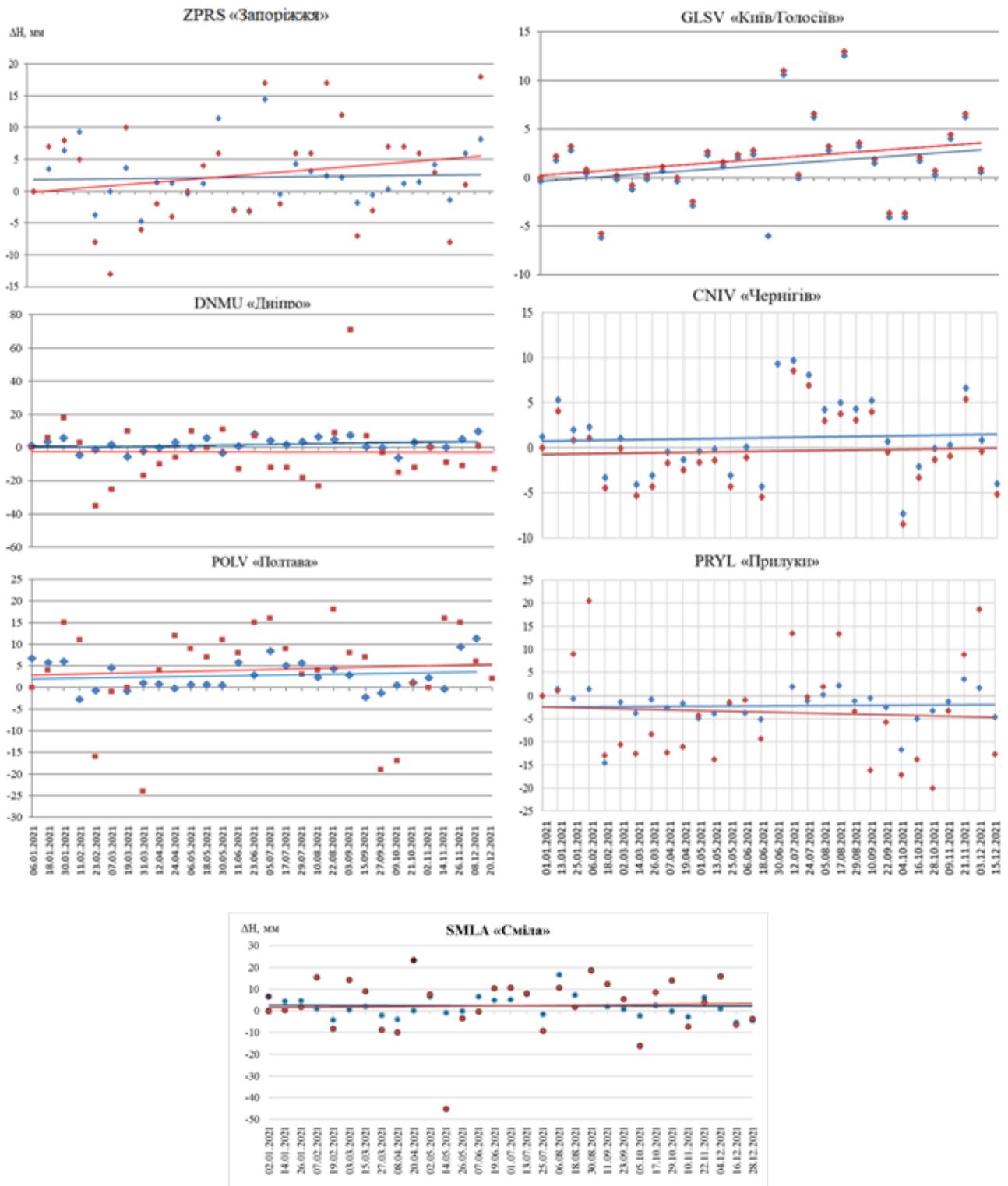


Рис. 4. Вертикальні рухи ГНСС–станцій Придніпровської низовини за 2021 рік: синім кольором – згідно супутникових спостережень, червоним – за результатами DInSAR (мм)

Таблиця 2

Характеристика вертикальних рухів ГНСС–станцій,  
що розташовані на Придніпровській низовині

Назва ГНСС-станції	Вертикальні швидкості руху, мм/рік		Істинна похибка вимірювань, мм/рік	Редуковані вертикальні швидкості, мм/рік	Редуковані різниці, мм/рік
	$V_{GNSS}$	$V_{DInSAR}$	$\Delta = V_{DInSAR} - V_{GNSS}$	$V_R = V_{DInSAR} - \Delta_{AVG}$	$\Delta_R = \Delta - \Delta_{AVG}$
1	2	3	4	5	6
GLSV	+3,4	+3,4	0,0	3,2	-0,2
CNIV	+0,8	+0,8	0,0	+0,6	-0,2
PRYL	+0,5	-2,3	-2,8	-2,5	-3,0
POLV	+1,7	+2,7	+1,0	+2,5	+0,8
DNMU	+3,7	-0,07	-4,4	-0,27	-4,6
ZPRS	+0,8	+6,0	+5,2	+5,8	+5,0
SMLA	-0,5	+1,9	+2,4	+1,7	+2,2

Згідно Рис. 4 поліноміальні лінії тренду, отримані за розрахунками диференціальної інтерферометрії DInSAR, повторюють траєкторії ліній тренду за даними супутникових спостережень. Такі результати комбінованих спостережень дозволяють в майбутньому використовувати методи радарної інтерферометрії для досліджень тих ділянок, де немає можливості виконувати наземні геодезичні вимірювання. Дослідження за вертикальними рухами Придніпровської низовини з 2023 року стали можливими лише за даними дистанційного зондування Землі. Саме з кінця 2022 року почалися обстріли енергетичної інфраструктури України, під загрозою опинилися всі гідроелектростанції по річці Дніпро. У 2023 році здійснено більше 30 масованих атак по Україні, зруйнована Каховська ГЕС [23]. Військові дії спричиняють шкоду інфраструктурі та населенню України, чинять екоцид на всій території і можуть впливати на загальні геодинамічні процеси в тілі Землі. На рис. 4 приведена карта вертикальних деформацій – ортотрансформоване зображення з інформацією про абсолютні зміщення у метрах кожного пікселя, з корекцією рельєфу за географічною системою координат – за період 29 квітня – 11 травня 2023 року. 10 травня була зафіксована масована ракетна атака, попередній напад був 28 квітня цього ж року. Отже, на карті чітко простежуються осередкові зрушення, які проявляються яскраво-червоним (просідання) і темно-синім (підняття) кольорами.

**Висновки.** У результаті проведеного дослідження вертикальних рухів земної кори Придніпровської низовини, здійсненого шляхом комплексного застосування ГНСС–спостережень та диференціальної інтерферометрії DInSAR, вдалося отримати дані щодо динаміки геологічних процесів у регіоні.

Виявлено, що територія Придніпровської низовини характеризується різноманітними показниками вертикальних зміщень земної поверхні, які пов'язані як з природними тектонічними процесами, так і з антропогенним впливом, зокрема з видобутком вуглеводнів та постійних обстрілів.

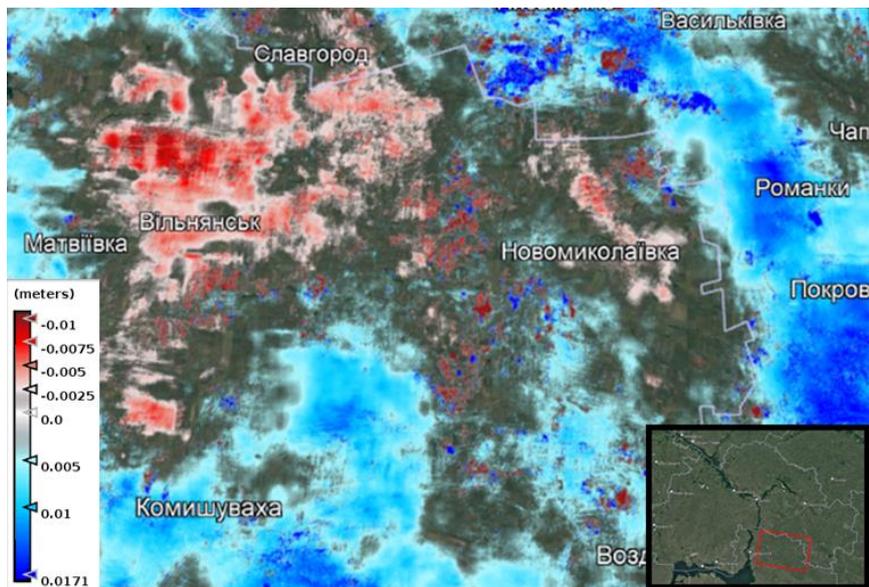


Рис. 5. Карта вертикальних деформацій на частину Придніпровської низовини за період 29.04.23–11.05.23 біля м. Запоріжжя, яка напередодні піддалася ракетним обстрілам

Застосована методологія дослідження дозволила визначити масштаби та напрямки вертикальних рухів, що має важливе значення для прогнозування можливих геологічних змін та оцінки їхнього впливу на інфраструктурні об'єкти регіону. Отримані результати можуть бути використані для розробки рекомендацій щодо безпечного ведення видобувних робіт та планування розміщення важливих інженерних споруд.

Подальші дослідження в цьому напрямку доцільно спрямувати на розробку вдосконалених методів моніторингу геодинамічних процесів з використанням сучасних супутникових технологій.

Сучасні геодезичні дослідження, які проводяться науковою спільнотою, мають важливе значення для моніторингу стану території в умовах бойових дій та промислового видобутку корисних копалин. Застосування різноманітних методів наземного та дистанційного спостереження дозволяє відстежувати переміщення й деформації земної поверхні, прогнозувати можливі зміни та виявляти фактори, що впливають на динаміку процесів.

Подальший розвиток методик геодезичного моніторингу та їх практичне застосування сприятиме раціональному використанню природних ресурсів Придніпровської низовини та забезпеченню екологічної безпеки регіону в умовах інтенсивної господарської діяльності.

### *Список використаних джерел*

1. Основи історичної геології: навч. посібник / А.М. Ягольник, Ю.В. Лазєбна. – Полтава: НУ «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», 2023. – 143 с.

2. Tretyak K., Nesterenko S., Bisovetskyi Yu. Complex InSAR radar image processing, GNSS and TPS measurements to determine the Kaniv HPP dam deformations. 2023. URL: <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-3426456/v1>
3. Третяк К., Брусак І. Сучасні деформації земної кори території заходу України за даними ГНСС мережі «Geoterrace» // Геодинаміка 1(32). 2022. С. 16–25. URL: <https://doi.org/10.23939/jgd2022.02.016>
4. Савчин І., Данилів Н., Зигар А., Романовський А. Дослідження динаміки вертикальних рухів земної поверхні в районі Дністровської ГАЕС впродовж 1999–2018 років. В збірнику статей GeoTerrace–2018, с. 5–6.
5. Kowalczyk K., Kowalczyk A. M. & Chojka A. Modeling of the Vertical Movements of the Earth's Crust in Poland with the Co-Kriging Method Based on Various Sources of Data. Applied Sciences, 2020, 10 (9), 3004. URL: <https://doi.org/10.3390/app10093004>
6. Rzyayev A.G. & Rasulov S.R. Identification of the mechanism of tectonic movements of the Earth's crust. News of the Ural State Mining University. 2019. 103–114. URL: <https://doi.org/10.21440/2307-2091-2019-1-103-114>
7. Hawkesworth C. J. & Brown M. Earth dynamics and the development of plate tectonics. Philosophical transactions. Series A, Mathematical, physical, and engineering sciences. 2018. 376 (2132), 20180228. URL: <https://doi.org/10.1098/rsta.2018.0228>
8. Третяк К., Вовк А. Дослідження динаміки горизонтальних рухів земної кори Європи за даними GNSS спостережень (2000–2010). Геодинаміка. 2012. № 2 (13). С. 5–17.
9. Extraction of a kinematic model for Switzerland based on GNSS and levelling data / A. Villiger et al. 10575.
10. Gerhatova L., Hefty J., Spanik P. Short-Term and Long-Term Variability of Antenna Position Due to Thermal Bending of Pillar Monument at Permanent GNSS Station. *Reports on Geodesy and Geoinformatics*. 2016. Vol. 100, no. 1. P. 67–77. URL: <https://doi.org/10.1515/rgg-2016-0007>
11. Pavlyk V.G., Kutnyi A.M., Babych T.M., Borysyuk O.V. The results of monitoring the vertical land motion at the geodynamic polygons of Poltava Gravimetric Observatory. 16th International Conference Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment, Monitoring. 2022. URL: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2022580100>
12. Павлик В.Г., Кутний А.М., Нестеренко С.В. Визначення локальних вертикальних рухів перманентної GPS – станції у Полтаві // XIII Міжнародна науково-практична конференція «Академічна й університетська наука: результати та перспективи». Полтава: НУПП. 10–11.12.2020. С. 141–145.
13. Khalyavina L.Ya. Geodynamic studies at the Poltava Gravimetric Observatory based on astrometric and GPS observations. *Geofizychnyi Zhurnal*. 2025. 47(2), 339–343. URL: <https://doi.org/10.24028/gj.v47i2.322574>
14. EUREF Permanent GNSS Network. URL: <https://epncb.oma.be/>
15. ASF Home. *Alaska Satellite Facility*. URL: <https://asf.alaska.edu/>

16. SNAP. [http://step.esa.int/downloads/6.0/installers/esa-snap\\_all\\_unix\\_6\\_0.sh](http://step.esa.int/downloads/6.0/installers/esa-snap_all_unix_6_0.sh)
17. Стецюк В. Екологічна геоморфологія України: навчальний посібник. К. : Вид. дім «Слово», 2010. 367 с.
18. Державна служба геології та надр України. <http://www.geo.gov.ua/overview-geological-card/>
19. ГНСС-група ГАО НАН України. *gnss.mao.kiev.ua*. URL: <https://gnss.mao.kiev.ua/?q>
20. Nesterenko S.V., Pavlyk V.G., Mishchenko R.A. Analysis of vertical movements of the permanent GNSS–station POLV on the base of satellite data and leveling. *Geodesy, cartography and aerial photography. Interdepartmental scientific and technical collection*. 2023. Vol. 97. 46–55. URL: <https://doi.org/10.23939/istcgcap2023.97.046>
21. Braun A., Veci L. Sentinel-1 Toolbox. Interferometry Tutorial. 2021. 25 p.
22. Метеопост – Архів погоди. URL: <https://meteopost.com/weather/archive/>
23. Масовані ракетні атаки рф: як змінювалася динаміка та інтенсивність. *Слово і Діло*. URL: <https://www.slovoidilo.ua/2023/10/30/infografika/bezpeka/masovani-raketni-ataky-rf-yak-zminyuvalasya-dynamika-ta-intensyvnyist>

Нестеренко Світлана Вікторівна, канд. техн. наук, доцент кафедри автомобільних доріг, геодезії, землеустрою та сільських будівель Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка». ORCID iD: 0000-0002-2288-3524. Тел.: +38 (050) 268-17-92. E-mail: [ab.Nesterenko\\_SV@nupp.edu.ua](mailto:ab.Nesterenko_SV@nupp.edu.ua)

Міщенко Роман Анатолійович, канд. техн. наук, доцент кафедри автомобільних доріг, геодезії, землеустрою та сільських будівель Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка». ORCID iD: 0000-0003-1027-0541. Тел.: +38 (050) 180-00-87. E-mail: [rom2014rom2014@gmail.com](mailto:rom2014rom2014@gmail.com)

Nesterenko Svitlana, PhD (Tech), Associate Professor, department of Highways, Geodesy, Land Management and Rural Buildings, National University «Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic». ORCID iD: 0000-0002-2288-3524. Tel.: +38 (050) 268-17-92. E-mail: [ab.Nesterenko\\_SV@nupp.edu.ua](mailto:ab.Nesterenko_SV@nupp.edu.ua)

Mishchenko Roman, PhD (Tech), Associate Professor, department of Highways, Geodesy, Land Management and Rural Buildings, National University «Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic». ORCID iD: 0000-0003-1027-0541. Tel.: +38 (050) 180-00-87. E-mail: [rom2014rom2014@gmail.com](mailto:rom2014rom2014@gmail.com)