

УДК 551.3:528.88(477)

Ляска І.І., Пакшин М.Ю., Стасюк В.М.

Центр прийому і обробки спеціальної інформації та контролю навігаційного поля, Україна, с. Залісці

## ДОСЛІДЖЕННЯ СТАНУ ГЕОДИНАМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ В УКРАЇНІ МЕТОДАМИ ТА ЗАСОБАМИ РАДІОЛОКАЦІЙНОЇ ЗЙОМКИ

*Розглянуті питання космічного моніторингу будівель, споруд, кар'єрів з метою виявлення вертикальних зміщень та своєчасного прийняття заходів запобігання виникненню надзвичайних ситуацій. Проведений огляд застосування даних радіолокаційної зйомки космічних апаратів Sentinel-1 європейської системи дистанційного зондування Землі Copernicus.*

**Ключові слова:** дистанційне зондування Землі, моніторинг, екзогенні геологічні процеси, надзвичайні ситуації, інтерферометричне оброблення даних.

Вступ. Внаслідок господарської діяльності: видобування корисних копалин, зміни рельєфу та рівня водної поверхні, будівництва різноманітних наземних і підземних споруд людство призводить до розвитку негативних та небезпечних екзогенно-геологічних процесів. У межах території України мають місце екзогенні геологічні процеси, що пов'язані з дією сили тяжіння (зсуви, обвали, осипи, лавини), з дією поверхневих і підземних вод (схиловий змив, ерозія, селі, карст, суфозія), просадка лесових порід. Через техногенне навантаження та через значну зношеність основних фондів в Україні збільшився ризик виникнення надзвичайних ситуацій, що пов'язані з впливом землетрусів.

Означені процеси впливають на стан будівель та споруд і можуть призвести до часткового або повного руйнування, спричинення загибелі чи травмування людей [1].

За даними інформаційних видань в селищі Солотвино на місці солевидобуваних шахт (рис. 1) сталась екологічна катастрофа [2], зсув ґрунту в селі Сапіжанка на вул. Дзержинського Вінницької обл. (рис. 2) призвів до руйнування будівель [3].

Міністерство надзвичайних ситуацій України вперше підтвердило державний рівень надзвичайної ситуації в Солотвині в 2010 році. У 2013 році Кабінетом Міністрів України було прийнято рішення ліквідувати ДП «Солотвинський солерудник» [4].

13 червня 2010 р. у результаті проведення планових підривних робіт у шахті

ім. Орджонікідзе в Кривому Розі утворився провал площею близько 16 гектарів, глибиною від 10 до 80 м. (рис.3). Одна людина загинула, провалившись разом зі своєю машиною в утворену яму. Частково були пошкоджені будівлі шахти і дорога [5]. Такі приклади можна наводити за кожен регіон України.

Законом України «Про Загальнодержавну цільову програму захисту населення і територій від надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру на 2013-2017 роки» передбачені заходи на послідовне зниження ризику виникнення надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру, підвищення рівня безпеки населення і захищеності територій від наслідків таких ситуацій [6].

Одним із шляхів та способів розв'язання проблеми є проведення наукових досліджень щодо створення системи моніторингу надзвичайних ситуацій та своєчасного попередження про потенційні загрози.

Використання наземних методів глобального моніторингу наслідків екзогенно-геологічних процесів є проблематичним через: територіальну розгалуженість і великі площі; відсутність коштів на проведення періодичних оглядових досліджень; неузгодженості дій та порушень правил безпеки експлуатації основних фондів.

Як показує досвід розвинених країн світу, ефективним у такій ситуації є метод дистанційного моніторингу з використанням радіолокаційних космічних апаратів (КА).



Рис. 1. Фотографія провалля в Солотвині, що на Тячівщині 22 квітня. 2015 р.



Рис. 2. Фотографія наслідків зсуву ґрунту 30 березня 2014 р. в селі Сапіжанка, Вінницької обл.



Рис. 3. Фотографії наслідків провалля у м. Кривий Ріг

**Мета** - дослідження технологій моніторингу геодинамічних процесів з використанням радарних даних космічного апарату з синтезованою апертурою Sentinel-1A.

**Завдання** – дослідження можливостей застосування методів інтерферометрії даних радіолокаційної космічної зйомки для моніторингу вертикальних зміщень будівель (кар'єрів) на території України площею у сотні квадратних кілометрів.

**Основна частина.** Застосування інтерферометрії постійних розсіювачів радарного сигналу для визначення вертикальних зміщень. Перевагами дистанційних методів дослідження земної поверхні, в порівнянні з традиційними, є масштабність огляду, можливість отримання глобальної і локальної інформації про об'єкти, а також контролю динаміки процесів в реальному масштабі часу. З появою радарних космічних систем з такою самою, як у систем видимого діапазону, розподільчою здатністю можливості дистанційного зондування Землі з космосу значно виросли.

Основною перевагою радарних зйомок є можливість отримання актуальної інформації за

будь-яких погодних умов та освітленості земної поверхні.

Крім того, користувач може отримувати дані в стислий період часу, або за конкретну дату, і з високою періодичністю.

Європейське космічне агентство створює глобальну космічну систему дистанційного зондування Землі - «Copernicus», яка буде сформована на базі супутників “Sentinel”, що будуть здійснювати зйомку Землі в оптичному та радіодіапазонах [7].

Станом на липень 2017 року на орбіту вже виведені радіолокаційні КА Sentinel-1A та Sentinel-1B. Дати запуску: Sentinel-1A - 03 квітня 2014 року, Sentinel-1B - 25 квітня 2016 року

Характеристики КА наведені у таблиці 1 [8]. Може виникнути запитання – чому саме КА Sentinel 1A саме тому, що це безоплатний варіант – зареєстрованим користувачам системою «Copernicus» дані надаються безоплатно, тому, що забезпечується велика частота зйомки однієї території під однаковим кутом двома КА – 6 діб, широка смуга огляду – 250 км., наявність напрацьованих методів та спеціалізованого програмного забезпечення.

Таблиця 1

Характеристики КА Sentinel-1A

Характеристика	Значення		
Маса, кг	2280		
Тип орбіти	Сонячно-синхронна, ближня полярна, кругова		
Висота орбіти, км	693		
Нахил, град.	98.18		
Повторний цикл	175 орбіт за 12 днів		
Термін використання, років	7		
Спектральний діапазон	С-діапазон		
Режим зйомки	Номінальна розподільча здатність, м	Ширина смуги зйомки, км	Поляризація
Interferometric Wide Swath	5x20	250	Подвійна, на вибір - HH/HV або VV/VH
Extra Wide Swath	20x40	400	
Stripmap	5x5	80	
Wave	20x5	20x20	Одинарна, на вибір - VV або HH

У статті розглянуте питання прикладного застосування радарних даних КА Sentinel-1A для моніторингу геодинамічних процесів (вертикальних зміщень) земної поверхні (будівель, споруд, доріг, мостів, дамб, естакад та ін.) на прикладі міста Кривий Ріг.

**Опис інтерферометричного методу визначення вертикальних зміщень.** Для аналізу використаний інтерферометричний метод оцінки малих зсувів земної поверхні та споруд, що базується на застосуванні радарних даних з синтезованою апертурою з космічного апарату Sentinel-1A. Кожен піксель кадру радіолокаційного сигналу являє собою когерентну суму відображень зондуючого сигналу від точкових цілей, розташованих на поверхні в межах елемента розподільчої здатності.

Радіолокатор реєструє сигнал, що приймається, зберігаючи фазу і амплітуду, у комплексному вигляді сигнал ( $S$ ) розраховується за формулою:

$$S = Ae^{j\varphi} e^{-\frac{j4\pi r}{\lambda}}, \quad (1)$$

де  $A$  - амплітуда сигналу,  $\varphi$  - зміна фази радіосигналу при відображенні від цілі (фаза перевідбиття),  $r$  - відстань між антеною радіолокатора і метою,  $\lambda$  - довжина хвилі зондуючого випромінювання [9].

Інтерферометричне оброблення засноване на маніпуляції з різницею фаз відбитих сигналів, в результаті якої можна отримати перевищення одного відбитого елемента поверхні щодо іншого.

Методика визначення осідань (підняття) земної поверхні та споруд, яка використана у роботі, заснована на загальному виявленні постійних об'єктів (відбивачів) на великій серії знімків (методи - Persistent Scatterers (PS) та Small baselines interferometry (SBAS)) і активно застосовуються відносно недавно.

Вхідними даними для оброблення повинні бути не менше 30 знімків однієї і тієї ж території за різні дати, відзнятих в одній і тій же геометрії зйомки супутникового радіолокатора за рік [10].

Для оброблення даних застосовувався програмний модуль SarScape, програмне забезпечення ENVI.

Продукт ENVI - ефективне і доступне програмне рішення для повного циклу обробки даних дистанційного зондування Землі (ДЗЗ), а також їх інтеграції з даними геоінформаційних систем.

Програмою автоматично вибирається основне зображення, на яке автоматично, з точністю до 1/100 пікселя, корегуються решта знімків інтерферометричного ланцюжка. Далі програма буде, так звані, інтерферограми (комплексно поелементно перемножені фазові шари радарних знімків) по кожній парі знімків. Потім для кожної пари оцінюються величини когерентності

(кореляції фаз радарних знімків). Також для кожної пари будуються карти величин стандартних відхилень амплітуд знімків.

Величина когерентності  $C_{oh}$  (від 0 до 100) відображає ступінь розпаду інтерферограми, вираховується як кореляція двох сигналів в комплексному вигляді і є мірою придатності пари знімків для подальшого оброблення за формулою 2:

$$C_{oh} = \frac{S_1 S_2^*}{(S_1 S_1^* * S_2 S_2^*)^{\frac{1}{2}}}, \quad (2)$$

де  $S_1$  и  $S_2$  - комплексні значення відбитого сигналу для першого (master) і другого (slave) знімків у парі.

Потім програмою визначаються точки - постійні (або стійкі) розсіювачі радарного сигналу. Для вибору точок використовується кілька порогів (порог кореляції амплітуд, порог когерентності, порог просторового і тимчасового відхилень величин зсувів першої ітерації і т. д.).

Після того, як постійні розсіювачі визначені, для них виконується процедура оцінки фазових різниць і мультитимчасової розгортки фази для точкових цілей. Саме в різниці фаз кожного знімку «зашита» величина зсувів за період між зйомками цих знімків.

Таким чином, для кожної з обраних точок відновлюється хронологія зміни фази в часі, яка потім математично перераховується в зміщення в міліметрах. Додатково в процесі оброблення застосовується спеціальний фільтр, що видаляє можливий вплив атмосфери на інтерферометричну фазу.

Інтерферометрія малих базових ліній - SBAS, на відміну від інтерферометрії постійних розсіювачів, є менш автоматизованим методом і вимагає більшої кваліфікації виконавця. В цьому випадку посилюється внесок статистики в фінальний результат за рахунок перехресного оброблення дуже великої кількості інтерферометричних пар при тій же самій кількості знімків. Для оброблення за цим методом не обов'язкова наявність 30 знімків, оброблення можливе і при меншій їх кількості [11]. Наприклад, в випадку 15-прохідного ланцюга загальна можлива кількість пар знімків досягає 105. З них за величиною найменшої просторової бази вибираються, наприклад, 30-40 пар. Пари можуть бути перехресними (перший прохід з другим, другий з третім, перший з третім, другий з четвертим і т. п.).

Метод SBAS за рахунок вкладу статистики дозволяє вимірювати зміщення на незабудованих та не вкритих рослинністю територіях.

Метод PS дозволяє вимірювати детальні зміщення на об'єктах інфраструктури, застосовується при розробці та експлуатації нафтових і газових родовищ, просадки над

шахтами, тунелями, моніторинг стабільності мостів, естакад, гідроелектростанцій, будинків та споруд і багато іншого, характеризується максимально можливою чутливістю визначення вертикальних зміщень, яка складає одиниці міліметрів, за умови використання на вході не менше 30 радарних знімків за період не менше 1 року.

**Характеристика вхідних даних.** Для проведення інтерферометричного оброблення даних методами PS та SBAS території міста Кривий Ріг визначена зона інтересу площею 410 км<sup>2</sup> (рис. 4).



Рис. 4. Вибрана територія для проведення аналізу зміщень (зона світлого кольору)

У якості вхідних даних ДЗЗ, згідно з методикою, підібрано 30 радарних знімків з КА Sentinel-1A за період з 14.05.2015 по 23.10.2016, виконаних за умов однакової геометрії зйомки супутникового радара. Список радарних знімків приведений в таблиці 2.

**Вихідною інформацією**, що отримана в результаті оброблення, є векторний файл точок, в атрибутах якого відображаються:

географічні координати точок, де спостерігаються зміщення;  
значення у міліметрах вертикальних зміщень окремо на кожну дату зйомки (згідно таблиці 2)

відносно дати першого знімка (14.05.2015);

середньорічна швидкість зміщень в мм/рік;  
абсолютна похибка середньорічної швидкості зміщень в мм/рік.

**Результат оброблення визначеної зони інтересу м. Кривий Ріг методом PS** є векторний файл, який містить 625 тисяч точок. Якщо такі точки визначати наземними методами зі швидкістю одна точка за хвилину, необхідно затратити місяць робочого часу. За отриманими даними проведений ГІС-аналіз, результатом якого є тематична карта, що відображає вертикальні зміщення будівель та споруд міста Кривий Ріг, (рис. 5). Враховуючи значення похибки самого методу PS (5-10 мм/рік), точки, швидкість зміщення яких становлять від -10 до 10 мм, визначені як стійкі зони до осідання чи підняття. Точки, швидкість зміщення яких становлять менше -10 мм, визначені як просідання, більше 10 мм – як підняття. На рис. 6 показані критичні зони, де виявлено просідання більше 10 см, на рис. 7 - критичні зони, де просідання більше 6 см.

**Результат оброблення визначеної зони інтересу м. Кривий Ріг методом SBAS** є векторний файл, який містить 447 тисяч точок. За отриманими даними проведений ГІС аналіз, результатом якого є тематична карта, що відображає вертикальні зміщення в зоні Першотравневого кар'єру (рис. 8).

**Верифікація застосованого методу.** З метою перевірки правильності застосування методу інтерферометричних досліджень вертикальних зміщень, проведені співставлення отриманих результатів з результатами, що отримані Європейським космічним агентством [12].

У якості порівняння вибрані знімки КА Sentinel-1A для аналізу об'єктів:

- затоки біля м. Сан-Франциско з 22.02.2015р. по 20.09.2016 р. (рис.10);
- «Вежі Тисячоліття» в м. Сан-Франциско за період з 22.02.2015 р. по 20.09.2016р. (рис.11);
- залізничної станції в м. Ослоза період з 26.12.2014р. по 28.10.2016 р. (рис.12).

Таблиця 2

Список радарних знімків

№	Дата зйомки	Виток	№	Дата зйомки	Виток	№	Дата зйомки	Виток
1	14.05.2015	5912	11	11.09.2015	7662	21	07.07.2016	12037
2	26.05.2015	6087	12	05.10.2015	8012	22	19.07.2016	12212
3	07.06.2015	6262	13	10.11.2015	8537	23	31.07.2016	12387
4	19.06.2015	6437	14	21.03.2016	10462	24	12.08.2016	12562
5	01.07.2015	6612	15	02.04.2016	10637	25	24.08.2016	12737
6	13.07.2015	6787	16	14.04.2016	10812	26	05.09.2016	12912
7	25.07.2015	6962	17	26.04.2016	10987	27	17.09.2016	13087
8	06.08.2015	7137	18	08.05.2016	11162	28	29.09.2016	13262
9	18.08.2015	7312	19	01.06.2016	11512	29	11.10.2016	13437

10	30.08.2015	7487	20	13.06.2016	11687	30	23.10.2016	13612
----	------------	------	----	------------	-------	----	------------	-------

18

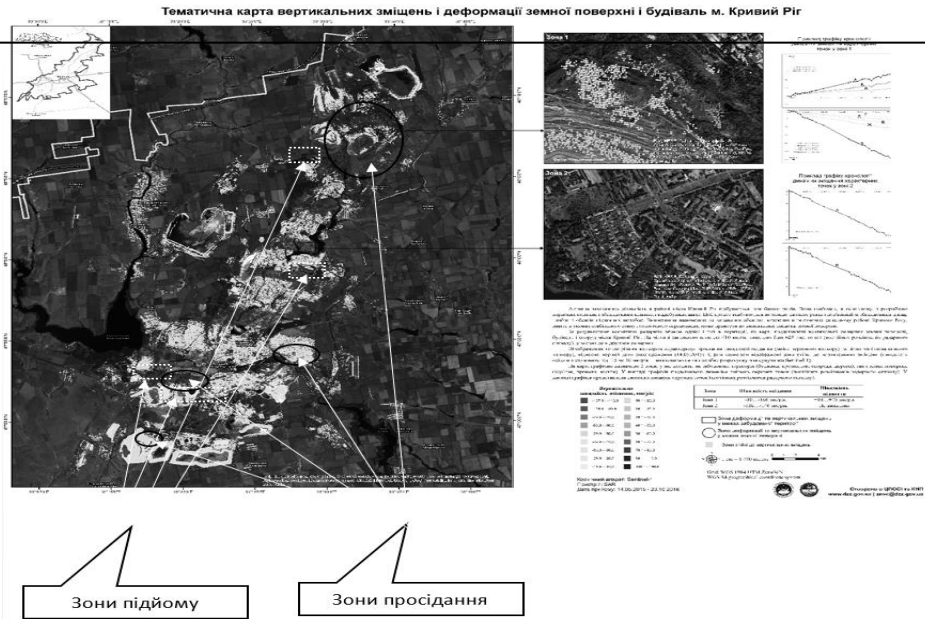


Рис. 5. Тематична карта інтерферометричних досліджень вертикальних зміщень і деформації земної поверхні і будівель у м. Кривий Ріг методом PS

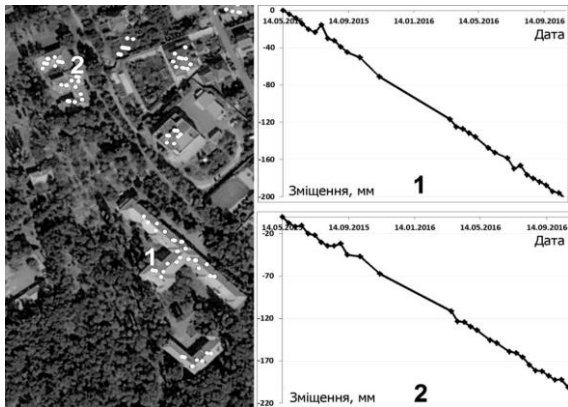


Рис. 6. Розраховані точки відбиття у м. Кривий Ріг по вул. Виноградова

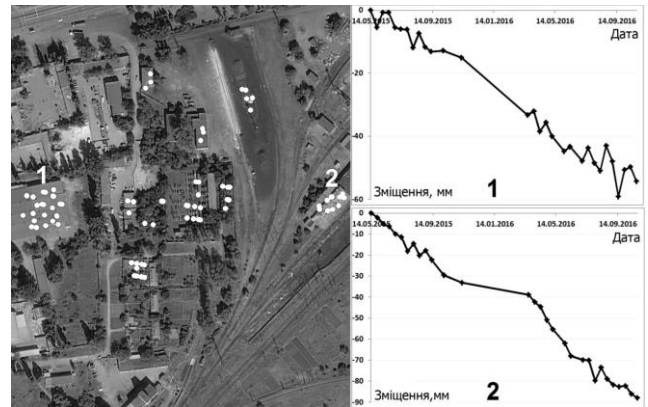


Рис. 7. Розраховані точки відбиття у м. Кривий Ріг по вул. Дніпровське шосе





Рис. 8. Тематична карта інтерферометричних досліджень вертикальних зміщень і деформації земної поверхні у м. Кривий Ріг методом SBAS

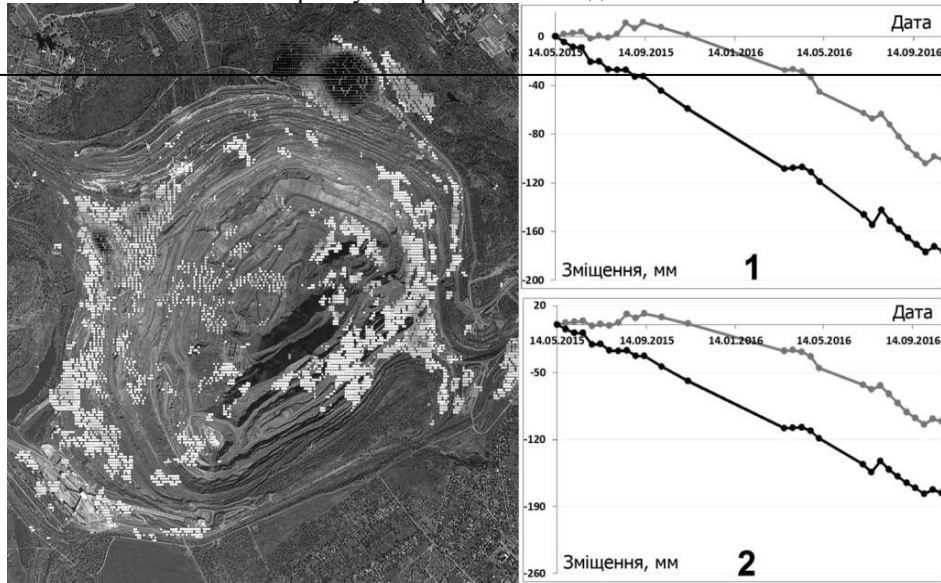


Рис. 9. Розраховані точки відбиття в зоні Першотравневого кар'єру

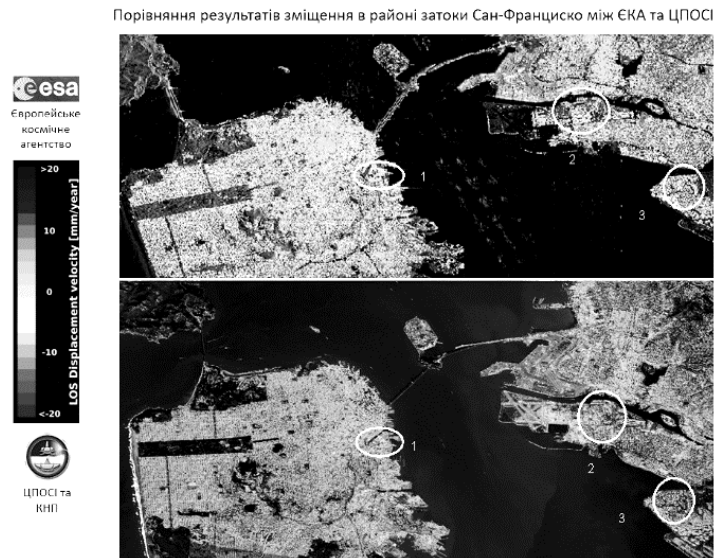


Рис. 10. Вибрані зони порівняльних інтерферометричних досліджень вертикальних зміщень і деформації земної поверхні затоки біля м. Сан-Франциско, США

Порівняння результатів зміщення навколо Вежі Тисячоліття в Сан-Франциско між ЄКА та ЦПОСІ



Рис. 11. Порівняльні інтерферометричні дослідження вертикальних зміщень і будівлі «Вежа Тисячоліття» у м. Сан-Франциско, США. Виявлена швидкість просідання близько 40 мм. за рік

Порівняння результатів зміщення залізничної станції в Осло між ЄКА та ЦПОСІ

20



Рис. 12. Порівняльні інтерферометричні дослідження вертикальних зміщень залізничної станції у м. Осло. Виявлена швидкість просідання близько 15 мм. за рік

Критичні зони вертикальних зміщень, що виявлені фахівцями ЦПОСІ та КНП і фахівцями Європейського космічного агентства на вибраних знімках співпадають за місцем розташування та площею поширення.

Можна зробити висновок, що інтерферометричні дослідження вертикальних зміщень, що проведені в ЦПОСІ та КНП, відповідають результатам, що отримуються Європейським космічним агентством.

**Висновки.** Моніторинг земної поверхні за допомогою радарних даних космічного апарату з синтезованою Sentinel-1A апертурою з застосуванням інтерферометричних методів оцінки малих зсувів земної поверхні та споруд Persistent Scatterers та Small baselines interferometry дозволяє визначати критичні місця розвитку несприятливих геологічних процесів і може стати оперативним засобом напрацювання рекомендацій для прийняття управлінських рішень.

Отримані кількісні і якісні показники моніторингу не дають відповіді щодо процесів, що мають місце і призводять до вертикальних зміщень, але надають можливість оцінити масштаби та тенденції їхнього розвитку. Конкретизація в кожному окремому випадку може бути виконана наземними методами, що значно спрощує пошук місць з критичними параметрами вертикальних зміщень, які можуть мати негативні наслідки та призвести до надзвичайної ситуації.

Можливість всепогодного космічного моніторингу великих за обсягом територій з використанням безплатної космічної інформації значно зекономить державні кошти та дозволить створити ефективну систему попередження розвитку надзвичайних ситуацій.

ДКА у особі НЦУВКЗ (ЦПОСІ та КНП) проводить дослідження щодо створення такої системи моніторингу.

### Список літератури:

1. Митропольський О.Ю. Техногенез і геодинаміка як фактори впливу на геологічне середовище території України / О.Ю. Митропольський, М.Г. Демчишин, Є.О. Яковлев // *Екологія довкілля та безпека життєдіяльності*, № 4, 2008. – С. 5-14.
2. Інформаційне видання PROZAK (<http://prozak.info/>).
3. Інформаційне видання myvin (<http://www.myvin.com.ua/ua/news/region/26184.html>).
4. <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/107-2013-%D1%80>.
5. Інформаційне видання sensor: (<https://sensor.net.ua/p129640>).
6. Закон України «Про Загальнодержавну цільову програму захисту населення і територій від надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру на 2013-2017 роки» (Відомості Верховної Ради (ВВР), 2013, № 19-20, ст.173).
7. Дворкин Б.А. (Компания «Совзонд») Европейская программа GMES и перспективная группировка спутников ДЗЗ Sentinel / Б.А. Дворкин // *Геоматика*, № 3, 2011. – С. 14-26.
8. Sentinel -1 User Handbook ESA Standard Document.
9. Rosen P.A. Synthetic aperture radar interferometry / P.A. Rosen, S. Hensley, I.R. Joughin et al. // *Proceeding of IEEE*. 2000. - Vol. 88. No. 3. – P. 333-380.
10. Hooper H. «A new method for measuring deformation on volcanoes and other non-urban areas using InSAR persistent scatterers» / H. Hooper, P. Zebker, Segall, B. Kampes. *Geophysical Research Letters*, vol. 31, December 2004.
11. Berardino P. «A new algorithm for surface deformation monitoring based on Small Baseline differential SAR Interferometry» / P. Berardino, G. Fornaro, R. Lanari, E. Sansosti. *IEEE Aerospace and Electronic*, Vol. 40, No. 11, November 2002. – p. 135-168.
12. [http://www.esa.int/Our\\_Activities/Observing\\_the\\_Earth/Copernicus/Sentinel1/Satellites\\_confirm\\_sinking\\_of\\_San\\_Francisco\\_tower](http://www.esa.int/Our_Activities/Observing_the_Earth/Copernicus/Sentinel1/Satellites_confirm_sinking_of_San_Francisco_tower).

**References:**

1. Mytropol's'kyi O.Yu. *Tekhnohenez i heodynamika yak faktory vplyvu na heotohichne seredovyshche terytoriyi Ukrainy* 21 O.Yu. Mytropol's'kyi, M.H. Demchyshyn, Ye.O. Yakovlyev // *Ekolohiya dovkillya ta bezpeka zhyttyvediyal'nosti*, № 4, 2008. – S. 5-14.
2. *Informatsiynе vidannya PROZAK* (<http://prozak.info/>).
3. *Informatsiynе vidannya myvin* (<http://www.myvin.com.ua/ua/news/region/26184.html>).
4. <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/107-2013-%D1%80>.
5. *Informatsiynе vidannya censor*: (<https://censor.net.ua/p129640>).
6. *Zakon Ukrainy «Pro Zagalnodержavnu tsilovu programu zahistu naseleння i teritoriy vid nadzvichaynih situatsiy tehnogenного ta prirodnogo harakteru na 2013-2017 roki»* (Vidomosti Verhovnoyi Radi (VVR), 2013, № 19-20, st.173).
7. Dvorkin B.A. (Kompaniya «Sovzond») *Evropeyskaya programma GMES i perspektivnaya gruppirovka sputnikov DZZ Sentinel*. // *Geomatika*, № 3, 2011. – S. 14-26.
8. *Sentinel -1 User Handbook ESA Standard Document*.
9. Rosen P.A. *Synthetic aperture radar interferometry* / P.A. Rosen, S. Hensley, I.R. Joughin et al. // *Proceeding of IEEE*. 2000. Vol. 88. No. 3. – P. 333-380.
10. Hooper H. «A new method for measuring deformation on volcanoes and other non-urban areas using InSAR persistent scatterers» / H. Hooper, P. Zebker, Segall, B. Kampes. *Geophysical Research Letters*, vol. 31, December 2004.
11. Berardino P. «A new algorithm for surface deformation monitoring based on Small Baseline differential SAR Interferometry» / P. Berardino, G. Fornaro, R. Lanari, E. Sansosti. *IEEE Aerospace and Electronic*, Vol. 40, No. 11, November 2002. – p. 135-168.
12. [http://www.esa.int/Our\\_Activities/Observing\\_the\\_Earth/Copernicus/Sentinel1/Satellites\\_confirm\\_sinking\\_of\\_San\\_Francisco\\_tower](http://www.esa.int/Our_Activities/Observing_the_Earth/Copernicus/Sentinel1/Satellites_confirm_sinking_of_San_Francisco_tower).

## ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТОЯНИЯ ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В УКРАИНЕ МЕТОДАМИ И СРЕДСТВАМИ РАДИОЛОКАЦИОННОЙ СЪЕМКИ

Ляска И.И., Пакшин М.Ю., Стасюк В.М.

Рассмотрены вопросы космического мониторинга зданий, сооружений, карьеров с целью выявления вертикальных смещений и своевременного принятия мер по предотвращению возникновения чрезвычайных ситуаций. Проведен обзор применения данных радиолокационной съемки космических аппаратов Sentinel-1 европейской системы дистанционного зондирования Земли Copernicus.

**Ключевые слова:** дистанционное зондирование Земли, мониторинг, экзогенные геологические процессы, чрезвычайные ситуации, интерферометрическая обработка данных.

## INVESTIGATION OF THE STATE OF GEODYNAMIC PROCESSES IN UKRAINE BY METHODS AND MEANS OF RADAR SURVEY

I.I. Lyaska, M.Yu. Pakshin, V.M. Stasiuk.

The issues of space monitoring of the buildings, structures, quarries with the purpose of revealing vertical displacements and timely adoption of measures to prevent emergencies are considered. An overview of the use of data from the radar survey of the Sentinel-1 spacecraft of the European Copernicus remote sensing system.

**Keywords:** remote sensing of the Earth, monitoring, exogenous geological processes, emergency situations, interferometric data processing.