

УДК 504.064.3:(628.88:624.131:543)

**СТВОРЕННЯ ГІС РОЗВИТКУ
ЗСУВНИХ ПРОЦЕСІВ В МЕЖАХ
М. КИЄВА В РЕЖИМІ МОНІТОРИНГУ
НА ОСНОВІ ВИКОРИСТАННЯ
БАГАТОЗОНАЛЬНИХ КОСМІЧНИХ
ДАНИХ ВИСОКОГО ПРОСТОРОВОГО
РОЗРІЗНЕННЯ**

**Володимир Філіпович, Людмила
Ліщенко¹, Наталія Пазинич¹**

Відділ аерокосмічних досліджень в геоecології. Державна установа «Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі ІГН НАН України» (Олеся Гончара 55-Б, Київ 01601 Ukraine E-mail: vefilin2000@gmail.com)

Розглядаються актуальні питання розвитку зсувонебезпечних ділянок Придніпровської зони м. Києва на основі аналізу багатоспектральних супутникових даних високої просторової розрізненості за останнє десятиріччя. В результаті уточнення місцеположення сучасних зсувних форм встановлені чинники активізації гравітаційних процесів у режимі моніторингу; виконаний прогноз ділянок і зон можливої активізації зсувної діяльності та простежені зміни техногенного навантаження. Складена ГІС Придніпровської зсувної зони м. Києва на 3 х аркушах. Висвітлюється склад та наповнення шарів геоінформаційної системи.

Ключові слова: дані дистанційного зондування Землі, Придніпровська зсувна зона; супутниковий моніторинг; геоінформаційна система; прогнозування зсувоутворення

Вступ

В основу роботи покладено результати досліджень виконаних Державною установою «Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі ІГН НАН України» на замовлення Департаменту житлово-комунальної інфраструктури виконавчого органу Київської міської ради (КМДА). Прикладна науково-дослідна робота присвячена розробці науково-методичних і практичних основ застосування супутникових даних для контролю розвитку зсувонебезпечних процесів в межах Придніпровської зони м. Київ [2].

Основними матеріалами, що використані в роботі слугували супутникові дані високої (2 м) та надвисокої (0,5 м) просторової розрізненості на площу в 44 км² Придніпровської зсувної зони (ПЗЗ) Було отримано три набори супутникових даних на такі дати зйомки: *Pleiades* від 22-04-2013 та від 04-04-2016 і *World View-2_03-04-2014* (компанія ТВІС, м. Київ) та данні *Quick Bird* за

2006 з власного архіву. Також використані фондові геологічні дані за результатами робіт ДП «Українська геологічна компанія» (бувша ПДРГП «Північгеологія»)

Мета досліджень

Головна мета досліджень це розробка та впровадження ГІС для моніторингу розвитку, і прогнозу активізації зсувних процесів у м. Києві на основі аналізу новітньої космічної інформації високого і надвисокого просторового розрізнення. Потреба таких досліджень для Києва з горбистим рельєфом та особливостями геолого-гідрологічної будови дуже актуальна, тим паче що у 2013 році активізація зсувоутворення призвела до руйнівних наслідків і можливість повторення подібного розвитку подій не виключена і наразі.

Методика досліджень

Головною проблемою та найбільш трудомісткою роботою при формуванні ГІС на дистанційній основі з високою та надвисокою просторовою розрізненістю є геометрична корекція супутникових даних і зведення (трансформування) різночасових даних і даних, отриманих з різних космічних систем, до єдиної картографічної моделі. В результаті аналізу всіх зібраних космічних даних було прийнято рішення про прийняття за основу дані зі супутника *World View-2* за 2014 р. завдяки проведенню зйомки, під кутом, що найбільш наближений до точки надиру – кут відхилення 3.31°. Після ортотрансформації матеріалів *World View-2* за допомогою наземних точок, всі інші дані трансформувались до скоригованих даних *World View-2*. Завдяки отриманим і зведеним супутниковим даним у єдину ГІС отримана можливість вести дослідження і формувати звітні картографічні матеріали у оптимальних масштабах від М 1:1 000 до М 1:10 000 Усі векторні шари перепроєктовано в проєкцію отриманих знімків *UTM, WGS84, Zone 36, North*. На територію дослідження використаний робочий набір растрових супутникових даних за останні 10 років, а також векторні шари з відомою топографічною інформацією. Нами проводилася перевірка і коректування за знімками топографічних шарів, об'єднання і просіювання деяких шарів з метою розвантаження ГІС під певну задачу. На основі комплексного аналізу дистанційних даних, побудованих цифрових моделей рельєфу, власних наземних досліджень і фактичного матеріалу накопиченого фахівцями Північного державного регіонального підприємства «Північгеологія» (ПДРГП «Північгеологія») та Комунального підприємства «Спеціалізоване управління протизсувних підземних робіт» (КП «СУППР»). У програмному середовищі *MapInfo Pro* створена ГІС Придніпровської зсувної зони до складу якої

увійшли 13 нових тематичних спеціалізованих шарів для вирішення задач моніторингу зсувів і визначення ризиків активізації зсувної діяльності. В результаті повного комплексу досліджень були виділені прогностичні зони і ділянки з максимальним ступенем зсувонебезпечності, які склали два результуючі шари ГІС[1].

Для інтерактивної обробки космічних даних використовувався, як полуавтоматичний спектральний аналіз (класифікація), так і візуальне дешифрування КЗ, а саме: структурне дешифрування, геоморфологічне дешифрування за ЦМР та КЗ (морфодинамічний аналіз, що показує вертикальну і горизонтальну структуру рельєфу).

В результаті комп'ютерної обробки супутникових даних всі наявні матеріали були зведені у єдину ГІС з можливістю вести оцінювання території та формувати звітні картографічні матеріали у оптимальних масштабах від М 1:1 000 до М. 1:10 000 (рис. 1)

Результати досліджень

Використання супутникових матеріалів та фондової геологічної інформації, а також проведена комплексна інтерпретація та аналіз отриманих даних дозволили створити нові спеціалізовані шари, що відображають процеси зсувоутворення на даній території та стосуються їх активізації. Для вирішення задач моніторингу зсувів, визначення ризиків активізації та прогнозу зсувної діяльності. Створена ГІС включає 15 нових спеціалізованих шарів

А. Растрові шари, що вміщують набір супутникових даних (*Space image Quickbird, Pleiades та World View-2*) за період з 2006 до 2016 рік. Дані зображення у вигляді 6 шарів мають дуже незначні похибки прив'язки, коректно зіставляються, представлені як в панхроматичному (чорно-білому) діапазоні з надвисоким розрізненням, так і синтезом діапазонів (RGB) наближених до природних кольорів:

- SI_Quickbird_2006_0,5 m
- SI_Pleiades_2013_nn321
- SI_WV_2014_Pan
- SI_WV_2014_nn532
- SI_Pleiades_2016_nn321

Б. Топографічні векторні шари, що містять вже відому топографічну інформацію, але нами проведена їх перевірка і коректування (оновлення), об'єднання і просіювання деяких шарів з метою розвантаження ГІС під певну задачу, тому в топографічній частині ГІС залишилось 15 шарів, представлених в табл.1.

Таблиця 1

Топографічні шари ГІС

№	Назва шару	Значення
1	building	будівлі
2	building_inside	внутрішня частина будівель
3	wood	густа рослинність
4	grass	рідка рослинність/газони
5	streets	дороги/вулиці
6	water	водойми
7	church	церкви
8	square	площі
9	relief	рельєф
10	railway	залізниця
11	tram	трамвай
12	district	райони
13	section	квартали
14	stadium	стадіони
15	bridge	мости

В. Спеціалізовані тематичні шари, які створювались вперше, та використовуються для вирішення задач моніторингу зсувів і визначення ризиків активізації зсувної діяльності наведені в табл. 2.

Таблиця 2

Спеціалізовані шари ГІС

№	Назва шару	Значення
1.	Drainage_lines	дренажна мережа
2.	Ridge_lines	гребеневі лінії схилу
3.	Slope_brow_upper	верхня бровка схилу
4.	Slope_brow_lower	нижня бровка схилу
5.	Slope_bending	перегин схилу
6.	Refinad landslide_conturs	уточнені контури зсувів
7.	Refinad landslide_numbers	уточнені номери зсувів
8.	Landslide_prone_zone	зсувонебезпечні зони
9.	Landslide_number	номер зсуву
10.	Lineament_zone	лінеаментні зони
11.	Activated_landslide_area	активні ділянки зсувів
12.	Monitoring_anthropogenic_changes	моніторинг техногенних змін
1	Landslide-prone zone	зони підвищеної небезпеки зсувоутворення
3		
1	Landslide_risk_area	ділянки підвищеного ризику зсувоутворення
4		

Зіставлення просторового положення зсувонебезпечних ділянок ПЗЗ, ділянок періодичної активізації зсувних процесів з даними геолого-геоморфологічної будови і структурного дешифрування даних ДЗЗ дозволило зробити висновок що провідним фактором у поширенні та активізації зсувних та інших екзогенних процесів є геодинамічні зони тектонічної нестабільності в приповерхневому шарі осадового чохла.



Рис.1. Картографічна модель розповсюдження та динаміки розвитку зсувів з результируючими шарами ГІС. (Фрагмент)

Такі зони трасуються за даними ДЗЗ у вигляді лінійно організованих елементів ландшафту (лінеаментів), які розглядаються як безпосередній прояв на земній поверхні систем розривів, закладених у кристалічному фундаменті, успадкованих осадовим чохлам і відображених у будові сучасного рельєфу. Таким чином, особливу увагу при моніторингу стану зсувонебезпечних ділянок необхідно приділяти схилам вздовж виявлених розломів і лінеаментів, а також ділянкам, що розташовані у вузлах їх перетину. Природно, що при посиленні другого важливого чинника активізації екзогенних процесів — гідрометеорологічного, саме в цих зонах прогнозовано найбільша вірогідність активізації старих та виникнення нових зсувів.

В цілому активізація зсувів може бути спровокована суттєвими змінами метеорологічного та гідрогеологічного режиму, порушенням геологічного субстрату, стану статичної рівноваги (підрізання схилу, будівництво, вібрація), вирубуванням зелених насаджень та аварійними ситуаціями, як то прориви чи витоки з водорозподільних систем інфраструктури міста.

Тому використовуючи КЗ високого просторового розрізнення різних часових зрізів, зроблений аналіз техногенних змін, де знайшли відображення всі новобудови, нові комунікаційні

споруди, що з'явилися за останні 10 років в зсувонебезпечній зоні.

За спектральними яскравостями на багатозональних КЗ високого просторового розрізнення віддиферовані ділянки, на яких зсуви знаходяться в стадії активності і продовжують відноситися до категорії діючих, а також винесені і уточнені контури вже існуючих зсувних тіл.

В результаті повного комплексу досліджень були виділені прогнозні зони і ділянки з максимальним ступенем зсувонебезпечності, які склали 2 результируючі шари ГІС:

1. Зони підвищеної небезпечності зсувоутворення (*Landslide-prone zone*);
2. Ділянки підвищеної небезпечності зсувоутворення (*Landslide_risk_area*).

Розроблена класифікація зсувонебезпечних зон і виділено три основні види: слабо небезпечні, помірно небезпечні, небезпечні.

При класифікації враховувалась геоморфологічні фактори (висота та кути нахилу схилів), наявність та характер рослинності на схилах, селитебна та промислова забудова, розташована біля верхньої або нижньої бровки, як фактори можливої дестабілізації, тобто стан антропогенного навантаження.

На рисунку рожевим контуром показані саме такі ділянки підвищеного ризику зсувоутворення

на фоні існуючих зсувних тіл (жовтий контур), активних ділянок (зелений контур), лінеаментних зон (червоні лінії). В результаті повного комплексу досліджень були виділені прогностичні зони і ділянки з максимальним ступенем зсувонебезпечності, які склали два результуючі шари ГІС.

Необхідним і одним із основних для ГІС став шар уточнених контурів зсувів за супутниковими даними (*Refinad landslide_contours*). На даний шар винесені контури існуючих зсувних тіл, які увійшли до геологічного кадастру та нові тіла, що були виявлені нещодавно.

В атрибутивну таблицю даного шару внесені дані на кожен зсув з інформацією про місце розташування, коротку характеристику зсувної форми, її стан на 2006 та 2013 рік за геологічними даними, та на 2016 рік — за супутниковими даними з елементами прогнозу за комплексним аналізом дистанційних даних.

Висновки.

Вперше була створена ГІС на основі аналізу часових рядів супутникових даних високого просторового розрізнення, що дозволило зафіксувати зсувонебезпечні ділянки і простежити динаміку їх розвитку у межах Придніпровської зсувної зони м. Київ на протязі останніх 10-12 років. Це дало можливість надати обґрунтований прогноз процесів зсувоутворення і виділити найбільш небезпечні ділянки.

Аналіз визначення ризику розвитку зсувів Придніпровської зони проведено за комплексом всієї наявної інформації з врахуванням, як існуючих фондових геологічних даних, власних наземних досліджень та обробки сучасної супутникової різночасової інформації з 2006 до 2016 рр.

Ділянки підвищеного ризику виділені в межах небезпечних зон та мають чіткі контури і не є на даний момент активними. Вони тяжіють до окремих елементів зсувних форм: південних схилів, верхів'їв, стінок зриву, деградованих мисів, верхніх опуклих ділянок схилів, що знаходяться в межах існуючих зсувів або в межах виділених нами небезпечних зон.

Ділянки ризиків можуть стати активними за певних умов і навіть при наявності лише одного або декількох чинників, таких як: перебільшення норми опадів більш ніж у 2.5 рази, збільшення техногенного тиску (вібрації, вищупування, підрізання схилу, збільшення рівня ґрунтових вод внаслідок баражів від будівництва), техногенні аварії, порушення режиму існуючого захисту схилів (руйнування підпирних стін, замулення штолень, зливостоків).

Всі отримані дані представлені у цифровому форматі та зведені до базової ГІС. Придніпровської зсувної зони. Матеріали досліджень передані КМДА в Департамент житлово-комунальної інфраструктури та КП СУППР для впровадження

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. *Ліщенко Л.П., Пазинич Н.В., Філіпович В.Є.* Супутниковий моніторинг розвитку зсувних процесів у Придніпровській зоні м. Київ // Український журнал дистанційного зондування Землі – 2017, – №15 – С. 11-22. *Online ISSN 2313-2132*
2. *Vadim Lyalko, Vladimir Filipovich, Lyudmila Lischenko, Natalia Pazynych, Aleksandr Teremenko, Anna Krylova.* Remote sensing monitoring of historical centre of Kyiv for reducing risks from disasters at world heritages properties // Fifteenth Asian Regional Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Fukuoka, Japan, November 9-13, 2015, Journal Japanese Geotechnical Society Special Public. Vol. 2 (2015) No. 78 p. 2671-2675. DOI: <http://doi.org/10.3208/jgssp.TC301-04>

DEVELOPMENT OF GIS OF THE LANDSLIDE PROCESSES WITHIN THE CITY OF KIEV IN THE MONITORING MODE ON THE BASIS OF MULTISPECTRAL HIGH SPATIAL RESOLUTION SATELLITE DATA

Vladimir Filipovich, Lyudmila Lischenko¹, Nataliya Pazynych¹

Department of Aerospace Research in Geoecology. State Institution "Center of Aerospace Research of the Earth", Institute of Geology National Academia of Science of Ukraine" (Oles Gonchar 55-B, Kyiv 01601, Ukraine. E-mail: vefilin2000@gmail.com)

Significant issues of landslides of the Kyiv Dnieper area are considered in the paper based on the multispectral high spatial resolution satellite data analysis over the last decade.

As a result of clarification of modern landslides location, factors of gravitational process intensification were found out in the monitoring mode; forecast of possible intensification of landslide activity areas and zones was made. Changes in anthropogenic pressure were inspected. The GIS of the Kiev Dnieper landslide zone on three sheets was developed. It's layers' composition is demonstrated.

Keywords: geoinformation system, Dnieper landslide zone, remote sensing data, satellite monitoring, forecasting of landslide.