

УДК 528.8:(504.064.3:551.4.042)(477-25)

## Супутниковий моніторинг розвитку зсувних процесів у Придніпровській зоні м. Київ

Л. П. Ліщенко \*, Н. В. Пазинич, В. Є. Філіпович

ДУ "Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі ІГН НАН України", Київ, Україна

На основі сучасних мультиспектральних супутникових даних високої просторової розрізненості визначено і уточнено місцеположення зсувів у м. Київ. Встановлено чинники активізації зсувних процесів у режимі моніторингу, зроблено прогноз можливої активізації зсувів. Створено ГС Придніпровської зсувної зони м. Києва.

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

© Л. П. Ліщенко, Н. В. Пазинич, В. Є. Філіпович. 2017

### Вступ

Представляємо результати удосконалення методики вивчення зсувонебезпечних процесів в межах Придніпровської зсувної зони міста Київ (ПЗЗ) за даними дистанційного зондування Землі. Роботу виконано у Державній установі "Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі ІГН НАН України" (ЦАКДЗ) на замовлення Департаменту житлово-комунальної інфраструктури виконавчого органу Київської міської державної адміністрації (КМДА).

Розглянуто актуальні питання щодо розвитку зсувонебезпечних ділянок в м. Києві, а саме: уточнення місцеположення сучасних зсувних форм, відстеження ділянок активізації гравітаційних процесів у режимі моніторингу на основі мультиспектральних супутникових знімків високої розрізненості, отриманих останнім десятиріччям, прогнозування ризиків зсувоутворення. Результати представлені у вигляді геоінформаційної системи (ГІС).

### Актуальність проблеми

Гравітаційні процеси у Києві, і в першу чергу — зсувні, пов'язані зі специфічними умовами, геологічним середовищем правобережжя міста, де перешаровуються верстви осадових порід різної водопроникності. Особливістю рельєфу даної території є значний перепад висот, різкі коливання базису ерозії та кутів нахилу схилів. За певних умов гідрометеорологічний чинник є пусковим механізмом зсувоутворення, а техногенні навантаження на схили — дестабілізуючим, що зумовлює небезпеку існування міської інфраструктури та життєдіяльності людей.

Вивчення зсувів на території Києва було розпочато ще у XIX ст. (М. П. Барбот-де-Марні, К. М. Феофі-

лактов (1882), П. А. Тутковський (1895), В. М. Чирвінський (1926, 1932) та ін), згодом цілі групи вчених і інститути досліджували проблему зсувоутворення на території Києва. Інженерним захистом схилів займалися всі, хто був причетний до розбудови міста починаючи з XII сторіччя, коли на стрімких схилах Дніпра з'явилися перші протизсувні споруди — дренажні відводи, підпірні стіни, вали [3].

Найбільш зсувонебезпечними є правобережні схили долини Дніпра і схили правосторонніх притоків, борти балок та ярів. Активізація гравітаційних процесів, що почалася з другої половини XIX сторіччя була викликана штучною зміною гідрологічного режиму ріки (перекриття Чорторію і спрямування русла під правий берег), інтенсивною забудовою схилів та прокладанням відповідних комунікацій, зміною умов дренажу ґрунтових вод унаслідок перекриття їх виходів на схилі техногенними відкладами, баражним ефектом від фундаментів споруд тощо.

Л. В. Самойленко (2003) проаналізувала інтенсивність зсувоутворення в окремі періоди. Найбільша активність спостерігалася в період 1960–1970 років завдяки метеорологічним явищам. Дослідниця, також відмітила зростання впливу техногенних чинників, а саме: вихід з ладу дренажно-штольневих систем, виток з підземних комунікацій, будівництво (їх частка зростає від 53 до 91% за період 1960–2000 років) [10].

Сучасна активізація зсувних процесів є наслідком багатьох причин, але суттєве зростання випадків зсувоутворення останнього десятиріччя відбувається у роки з максимальною кількістю атмосферних опадів, що інфільтруються і сильно зволожують лесові ґрунти. Мінімальна стійкість схилів відзначається весною чи восени, максимальна — в зимовий та літній час. Проте, у грудні 2012 року спостерігалось перевищення норми опадів у 2.5 рази, які, надійшовши в ґрунт та в гідромережу, спричинили підвищення рівня води і перенасичення ґрунту. Також, навесні

\* E-mail: Lischenko.jp@gmail.com

наступного 2013 року кількість опадів у березні перевищила середньомісячну норму в 3 рази. Зокрема, за зиму випало 260 мм опадів, що на 120 мм більше від норми. Протягом 22–23 березня 2013 року вперше за всю 132-річну історію метеоспостережень за дві доби у Києві випало більше 60 мм опадів у вигляді снігу, що дорівнювало місячній нормі. Масове сніготанення, що почалося 31 березня спричинило вже на початку квітня активізацію більш ніж 18 ділянок у межах міста. Осінь 2013 р. теж побила 90-річний рекорд за рівнем опадів. За даними Центральної геофізичної обсерваторії у вересні їх випало від 100 до 214 мм, що є нормою двох–чотирьох місяців. Тому 2013 рік можна назвати рекордним по активізації зсувних явищ за гідрометеорологічними показниками [2, 4] (рис. 1).

Проте найбільший вплив на активізацію зсувів у Києві має техногенний чинник, що залежить тільки від діяльності людини і, нажаль, у сучасних умовах господарювання є практично непередбачуваним. Завдяки втручанням в геологічне середовище порушується гідрологічний режим, створюються баражні умови, змінюється кут нахилу денної поверхні, порушується геологічна суцільність порід, знищується деревостан і дерновий покрив.

Виникла необхідність у створенні геоінформаційної системи на основі детальних космічних матеріалів для візуалізації та визначення стану зсувонебезпечних ділянок і прогнозних зона та контролю за еологічним середовищем міста з боку муніципальних органів а також громадських організацій.

### Сучасний стан Придніпровської зсувної зони (ПЗЗ)

В межах м. Києва зсувні процеси розвинуті у двох зонах: Придніпровській — правий корінний схил долини Дніпра і пригирлова частина ярів та балок; і Миській — долина р. Либідь і її яружно-балкова мережа. Зсуви Придніпровської зсувної зони за характером прояву та геолого-гідрогеологічними умовами територіально згруповані в Подільську, Центральну, Лаврську, Залаврську, Видубицьку та Миську ділянки. Кожна ділянка має свої специфічні характеристики і особливості. Загальна кількість зсувних форм за даними попередніх досліджень — 92 зсуви та 6 ділянок зсувного рельєфу, які були відокремлені в окрему категорію [1].

Подільська зсувна ділянка приурочена до правого схилу долини Дніпра, прорізаного густою яружно-балковою мережею, обмежена Сирецькою балкою і Володимирською гіркою. В межах ділянки розташовано 39 зсувних форм загальною площею 120 га. Тип зсувів — прияружний і внутрішньо-яружний. Зсувного ураження на цій ділянці зазнають правосторонні схили ярів і балок. На Подільській ділянці розвинуті зсуви верхнього ярусу по бурих і строкатих глинах.

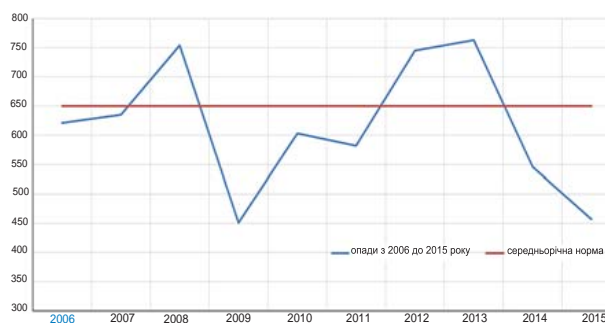


Рис 1. Кількість опадів за 2006–2016 роки в м. Київ, мм

На відміну від Подільської ділянки, зсувні форми Центральної та Лаврської ділянок мають практично суцільне розповсюдження. Всі їх морфологічні форми добре виділяються в рельєфі. Переважають зсуви циркоподібного типу. Характерною особливістю зсувних ділянок є те, що часто декілька зсувів мають практично спільну стінку зриву. Висота її дорівнює 16–22 м, ухил — до 80°. Біля підніжжя стінки зриву відмічається зсувна тераса шириною в середньому 30–40 м, але іноді її ширина сягає 100 м, вона закладена на полтавських (новопетрівських) пісковиках і червоно-бурих глинах). Після проведення багаторазових планувальних робіт поверхня терас слабо похила, до горизонтальної (Паркова дорога). Зсувні цирки та миси, що їх розділяють, добре виділяються в рельєфі і простежуються нижче спланованої тераси. Цирки депресій по схилу звужуються і переходять у вузькі улоговини довжиною до 200–400 м [1].

Видубицька ділянка розташована на схилах Ботанічного саду НАНУ. Зсуви характеризуються нечіткими морфологічними формами, окрім добре виділених стінок зриву висотою до 10–15 м. Зсувні тераси повністю відсутні, депресійні частини частково підрізані, язики повністю зрізані і переплавані при облаштуванні штучної тераси та дороги в нижній частині схилу. В останнє десятиріччя екзогенні та геодинамічні процеси знову почали активізуватися, на цій ділянці утворились нові зсувні тіла.

В генетичному відношенні зсуви Видубицької ділянки близькі до зсувів-потоків північно-західної частини Подільської ділянки. До Придніпровської зони відносимо також схили Лисої і Багринової гори, з активізованими на них в останній час окремими зсувними ділянками. В процесі розвитку схилів всі морфологічні елементи зсувів під впливом природних і техногенних факторів зазнавали істотних змін: стійкі частини схилів руйнувались, цирки зсувів розширювались, зсуворозділяючі миси виположувались, руйнувались і осипались. З'єднавшись, верхні частини цирків формували специфічну морфоскульптуру зі слабозвивистою спільною стінкою зриву та хвилястою поверхнею депресій [3].

## Методика досліджень

### *Підготовка та первинна обробка космічних даних середньої і високої просторової розрізненості*

На територію площею 44 км<sup>2</sup> в межах ПЗС було замовлено, підготовлено та інтегровано до ПС супутникові дані високої (2–5 м) та надвисокої (0.5 м) просторової розрізненості. Отримані багатозональні супутникові дані (Pleiades від 22-04-2013 та 04-04-2016, World View-2 від 03-04-2014), а також, Quick Bird 2016 р. дали змогу провести моніторингові дослідження стану ПЗС за останні 10 років.

Різномасштабні космічні дані з різних носіїв було перепроєктовано до єдиної системи координат UTM WGS 84, Zone 36 N, геометрично і радіометрично скориговано, трансформовано до просторового розрізнення 0.5 м. Це дозволило вести дослідження і формувати картографічні моделі у оптимальних масштабах від 1:1 000 до 1:10 000.

Базовим космічним зображенням був вибраний панхроматичний знімок World View-2 з просторовим розрізненням на місцевості 0.5 м, знятим з мінімальним кутом відхилення від надиру. Всі інші космічні матеріали було трансформовано під базовий. Для відтворення натуральних кольорів космічного зображення Pleiades використовувався композит 3, 2, 1 каналів. Для даних, отриманих з космічного апарату (КА) World View-2 — композит 5, 3, 2, каналів. Крім того, для деталізації будови окремих зсувних площ використовувались і інші комбінації каналів, особливо з використанням ближнього ІЧ-діапазону КА World View-2.

Таким чином, отримано набір геометрично скорегованих космічних даних для проведення моніторингу і визначення змін у розвитку екзогенних геологічних процесів. Зауважимо, що космічні дані у повному форматі мають дуже великий розмір (від 4 до 12 Гб), що значно уповільнює швидкість комп'ютерного аналізу. Тому Придніпровську зсувну зону було розбито на три площі: Північну (Подільська ділянка), Центральну (Центральна, Лаврська, Залавська, Видубицька ділянки) і Південну (ділянки Лиса і Багринова гори, Мишоловка).

Застосування матеріалів космічних зйомок з меншим просторовим розрізненням, таких як Landsat, дає можливість ефективно вивчати новітні геодинамічні процеси, зони динамічної напруги (розломи, лінеamenti, зони тріщинуватості, геодинамічні вузли). У таких зонах спостерігаються закономірні зміни фізичних властивостей порід: збільшення пористості та зменшення щільності, механічної стійкості, спостерігається роздробленість гірських порід. Найнебезпечнішими є вузли перетину лінементних зон між собою, де може відбуватися втрата

механічної міцності, розвиток небезпечних екзогенних геологічних процесів (ЕГП) в тому числі і зсувів. Зони геодинамічної активності позиціонуються як зони геолого-екологічного ризику, оскільки в їхніх межах збільшується пористість та зменшується механічна міцність гірських порід, спостерігаються зміни молекулярної вологоємності, електропровідних й магнітних властивостей порід. Такі зони вважають нестабільними. Тут існує велика ймовірність підвищеної міграції речовин. Розущільнені, тріщинуваті породи в межах геодинамічних зон сприяють швидкій фільтрації природних вод і промислових та комунальних стоків. [5].

Отже, для оцінки зсувонебезпечності схилу необхідно визначити — чи не знаходиться він у межах геодинамічної зони або у вузлах їх перетину, тобто в зонах лінементів. На рис. 2 демонструється приклад виділення таких зон за супутниковими даними [6].

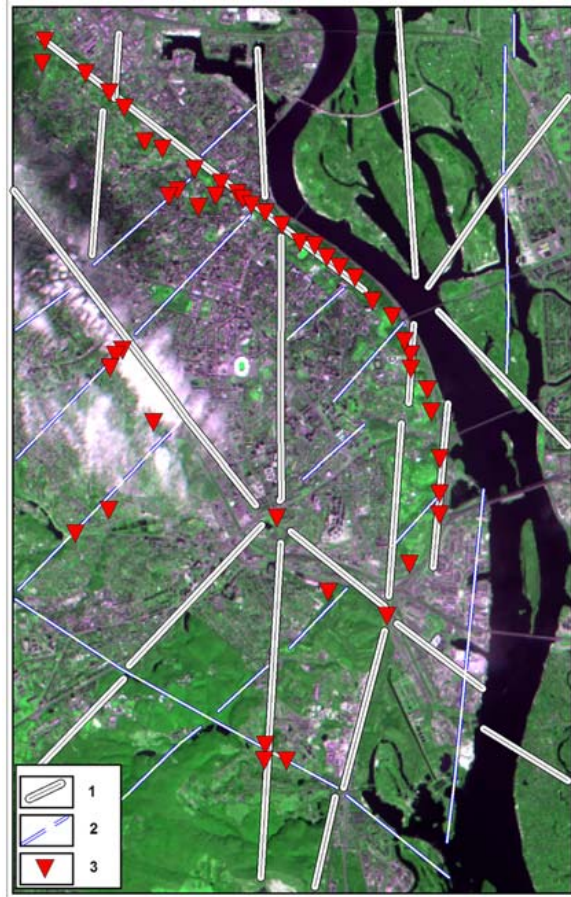
Одним з головних методичних прийомів досліджень, які виконали автори статті, є геоморфологічний аналіз зсувних ділянок за ЦМР, визначення градації схилів за стрімкістю та відносними перевищеннями над базисом ерозії, поділ на елементарні басейни. Детально методику геоморфологічного аналізу на основі морфодинамічного підходу за басейновим принципом, що використовувався при дослідженні цифрової моделі рельєфу викладено в роботах Н. В. Пазинич [8, 9].

### *Ідентифікація та картування зсувів за дистанційними даними та їх відображення у векторних шарах*

За знімками високого просторового розрізнення уточнюються положення зсувних тіл. За спектральною яскравістю ідентифікують зсувні тіла, що активувались і продовжують відноситися до категорії діючих.

Для роботи з космічним зображенням використовується як спектральний аналіз, так і контрастно-аналогове дешифрування КЗ, а саме — структурне дешифрування (лінеamentний аналіз), геоморфологічне дешифрування, морфодинамічний аналіз, вертикальної і горизонтальної структури рельєфу. В результаті повного комплексу досліджень виділяють прогнозні зони і ділянки з максимальним ступенем зсувонебезпечності.

Ризик активізації зсувів може бути спровоковано суттєвими змінами гідрогеологічного режиму, порушенням геологічного субстрату, стану статичної рівноваги (підрізання схилу, будівництво, вібрація), вирубуванням зелених насаджень та аварійними ситуаціями, як то — пошкодження та витіки з водонесучих систем. Тому результатом зіставлення різномасштабних високоточних супутникових даних є аналіз техногенних змін, де знайшли відображення всі новобудови та технічні споруди, що з'явилися за останні 10 років в зсувонебезпечній зоні.



**Рис. 2.** Зіставлення карти лінементів із ареалами розвитку зсувів у м. Київ.  
1 — розломи за геологічними даними, 2 — лінементи за результатами ДЗЗ, 3 — Ділянки розвитку та активізації зсувів за період 2005–2016 рр.

Карти лінементів зіставляють з даними про техногенні зміни, про існуючі зсувні ділянки, а також інтерпретують на основі структурно-геоморфологічних побудов. Лише в результаті комплексного аналізу цих даних визначають потенційно небезпечні ділянки [7].

Візуалізація, аналіз та прогноз явищ зсувоутворення на основі набору певних рядів супутникових даних дають можливість провести високоточний моніторинг стану конкретних ділянок з високою повторюваністю у часі. А комплексування різнопланових тематичних шарів з застосуванням геоінформаційних технологій допомагає картувати ділянки, що ідентифікуються на дистанційному зображенні та вивисовуються за ЦМР як зсуви, зсувні форми, зсувний рельєф, активні зсувні тіла або ж ділянки, що можуть бути зонами підвищеного ризику зсувоутворення.

### Результати досліджень

Для спостереження за розвитком зсувів Придніпровської зсувної зони розроблена ГС станом на першу половину 2016 року.

На територію дослідження побудовано робочий

набір векторної топографічної основи WGS84 у програмному середовищі MapInfo, наведений в таблицях нижче. Усі векторні шари перепроєктовано в проєкцію отриманих знімків UTM, WGS84, Zone 36, North.

Використання супутникових матеріалів та фондової геологічної інформації, а також аналіз на основі комплексної інтерпретації усіх даних дозволили створити нові спеціалізовані шари, що стосуються активізації та ризику зсувоутворення.

В результаті трудомістких робіт геоінформаційна система наповнилася шарами, які були створені на основі аналізу супутникових даних, з використанням цифрових моделей рельєфу та аналітичних даних (рис. 3).

Отже створений ГС включає:

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 діапазоні з надвисоким розрізненням (чорно-білими), так і синтезом діапазонів приближених 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* із загальнодоступною інформацією на досліджувану територію. Проте була проведена її перевірка і коректування, об'єднання і просіювання деяких шарів з метою розвантаження ГС під певну задачу, тому в топографічній частині ГС залишилось 15 шарів (табл. 1).

В) *Спеціалізовані шари*, які створені вперше та використовуються для вирішення задач моніторингу зсувів і визначення ризиків активізації зсувної діяльності, їх перелік наведено у табл. 2.

Коротко розглянемо наповнення і характеристики даних спеціалізованих шарів.

**Структурне дешифрування.** Дешифрування знімків з використанням контрастно-аналогового та геоіндикаційного підходів дозволило створити шар *лінементного аналізу* території (Lineament zone). Приповерхневі та глибинні розломи, фрагментарно можуть проявлятися на космічному зображенні. Вони зіставляються з геодинамічними зонами із підвищеною флюїдопроникністю та можуть бути потенційно небезпечними щодо розвитку та активізації екзогенних процесів.

Ступінь вірогідності виділення розломів різна. Структурно-тектонічна перебудова кристалічного фундаменту Київського регіону відбувалася під впливом рухів по численних розривних порушеннях, серед яких провідну роль відіграє Дніпровська тектонічна зона, що має північно-західне простягання та контролюється Київським глибинним роз-





Рис. 3. Фрагмент результуючих шарів ГІС представлених у звітних матеріалах у вигляді карти

Таблиця 1.  
Топографічні шари ГІС

building	будівлі
building_inside	внутрішня частина будівель
wood	густа рослинність
grass	рідка рослинність/газони
streets	дороги/вулиці
water	водойми
church	церкви
square	площі
relief	рельєф
railway	залізниця
tram	трамвай
district	райони
section	квартали
stadium	стадіони
bridge	мости

Таблиця 2.  
Спеціалізовані шари ГІС

Drainage_lines	дренажна мережа
Ridge_lines	гребеневі лінії схилу
Slope_brow_upper	верхня бровка схилу
Slope_brow_lower	нижня бровка схилу
Slope_bending	перегин схилу
Refinad landslide_contours	уточнені контури зсувів
Refinad landslide_numbers	уточнені номери зсувів
Landslide_prone_zone	зсувонебезпечні зони
Landslide_number	номер зсуву
Lineament_zone	лінеamentні зони
Activated_landslide_area	активні ділянки зсувів

ломом. Наступний за значенням — міжблоковий Дарницький розлом субмеридіонального простягання. Крім цих головних розривів у кристалічному фундаменті за геолого-геофізичними даними встановлено ряд тектонічних порушень меншого рангу і різних напрямів простягання.

В неотектонічному плані ці розломи представлені фрагментарно, але впевнено дешифруються за

спутниковими даними та ЦМР. Розломи, закладені у кристалічному фундаменті за давніх епох тектонічного розвитку закономірно зменшують свою амплітуду знизу-догори і у верхніх горизонтах земної кори нерідко стають безамплітудними, формуючи лише зони підвищеної тріщинуватості. Саме такі зони знаходяться поза межами можливостей геофізичних методів і трасуються лише за резуль-

татами структурно-геоморфологічних досліджень та дешифрування матеріалів аерокосмічного знімання (рис. 4).

Дарницький розлом в сучасній ландшафтній системі контролює субмеридіональний відрізок долини Дніпра. За своєю морфологією він представляє ступінчатий підкид, по якому Київський блок припіднято відносно зануреного Бориспільського. У гравітаційному полі це тектонічне порушення простежується за наявністю лінійних мінімумів субмеридіонального простягання, воно має стрімке падіння і простежується до глибини 12 км [11].

В неотектонічному плані простежується спадковість глибинного Дарницького розлому Київським неотектонічним порушенням. Зоні впливу Київського розлому відповідає значне підвищення середніх градієнтів швидкості неотектонічних рухів земної кори. Наявність локальних максимумів середніх градієнтів швидкостей неотектонічних рухів земної кори свідчить про формування ряду мезо- і мікро- блокових структур зі значними різницями неотектонічних амплітуд та вираженими відмінностями в режимі вертикальних рухів. Така геодинамічна активізація в приповерхневих геологічних горизонтах призводить до активізації екзогенних процесів, насамперед, гравітаційної групи. В рельєфі розлом обумовлює формування кругого правого схилу долини Дніпра 60–70 м заввишки. Слід зазначити, що дана субмеридіональна зона диз'юнктивних порушень є найбільш вираженою в ландшафті і найбільш активною на даний час [7].

Найбільш потужним тектонічним порушенням північно-східного простягання є Немирівський розлом..

Окрім описаних геодинамічних зон, що мають підтвердження за геофізичними методами, на схемі представлено цілий ряд ймовірних розривних порушень за даними вивчення структурно-геоморфологічних особливостей території, а також за результатами аналізу дистанційних даних. Аналізуючи роль окремих зон геодинамічної напруги у розвитку сучасних екзогенних процесів, необхідно відзначити, що найбільш активними на неотектонічному етапі є зони субмеридіонального і північно-західного спрямування. Зони північно-східного спрямування відіграють підпорядковану роль [11].

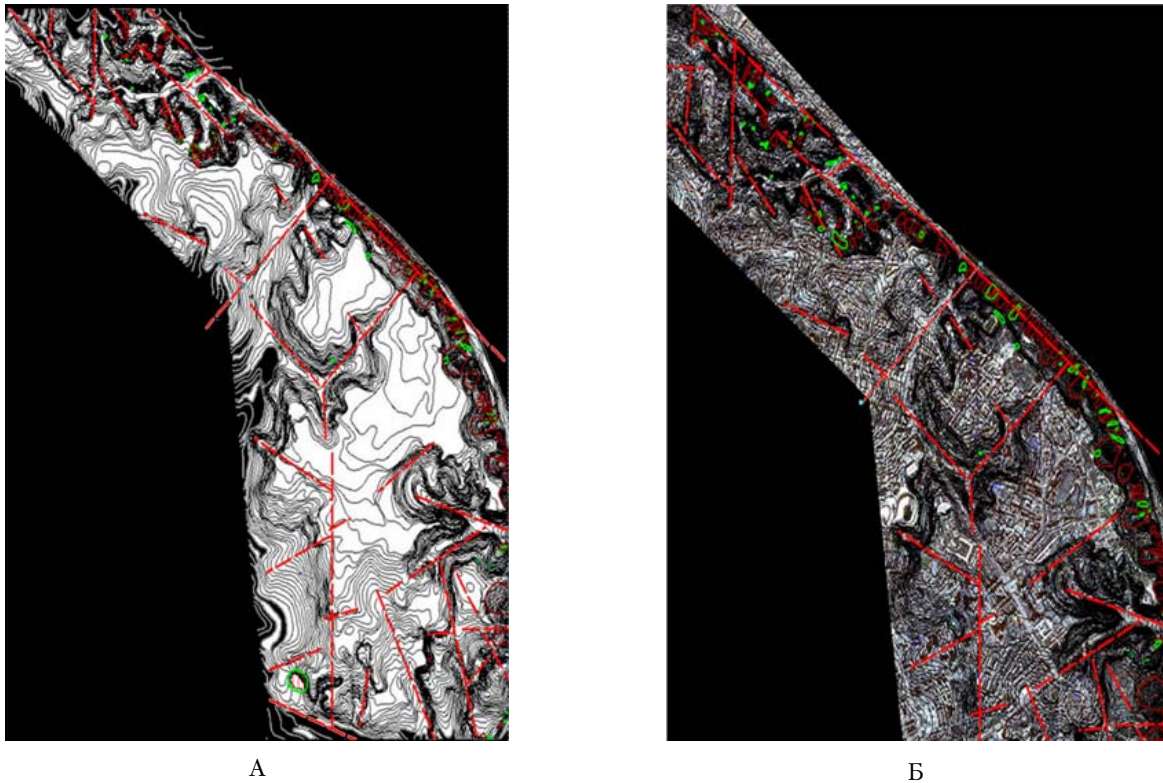
Особливо несприятливими ділянками є місця перетину геодинамічних зон різного напрямку. Такі вузли характеризуються високим рівнем роздробленості гірських порід. При певних умовах тут відбуваються деформації земної поверхні, активізуються екзогенні, геохімічні та інші процеси. Висока проникність гірських порід є одним із чинників підйому ґрунтових вод, що веде до підтоплення ґрунтів, порушення фундаментів будівель, підземних комунікацій та інших об'єктів, може викликати зсувні процеси, вилуговування гірських порід з їх подальшим просіданням.

В межах Києва такі ділянки знаходяться на правобережжі, біля Поштової площі, площі Либідської (оз. Глинка), Куренівки, Лисої гори. Такі ділянки виділяються нами як зони сучасної активізації всіх екзогенних процесів, які є несприятливі для проведення житлового, промислового, транспортного будівництва, спорудження об'єктів з великим статичним навантаженням тощо. Вони потребують моніторингового контролю за експлуатацією об'єктів для проведення певних профілактичних заходів по зменшенню негативного впливу на природне середовище.

**Геоморфологічні дослідження.** Результатом аналізу рельєфу за ЦМР та дешифруванням КЗ став комплекс побудов і формування *геоморфологічних шарів* до ГІС. Два шари показують вертикальну структуру рельєфу — гребеневі лінії (Ridge\_lines) і дренажні лінії (Drainage\_lines). Фізичний зміст гребневих та дренажних ліній полягає у визначенні вектору ймовірного руху поверхневих речовинних потоків. З максимальною вірогідністю траса руху зсувного тіла буде контролюватися напрямом вже сформованої дренажної лінії. Треба зазначити, що більшість зсувонебезпечних ділянок у Києві знаходяться в стані спокою, тобто динамічної рівноваги. Вироблений профіль схилу може достатньо довгий час бути стабільним поки якийсь з факторів не активує зсувну діяльність. Найбільша щільність гребневих ліній спостерігається в місцях розчленованого ярами схилу Придніпровського плато та бортів долини річок Сирець, Глибочиця, балки Мишоловка. Також змінюється і планова конфігурація гребневих ліній від коротких спрямлених до довгих звивистих.

Горизонтальна структура рельєфу представлена шаром, на якому відображена верхня бровка схилів (Slope\_brow\_upper), лінії опуклих перегинів схилів (Slope\_bending) і нижня бровка схилів (Slope\_brow\_lower), саме в межах яких, у переважній більшості, відбуваються зсуви. Гіпсометричні перевищення поверхні створюють умови для переходу потенційної енергії важких, зволжених мас порід, у верхніх частинах схилів, в кінетичну енергію зсування, опливання, обвалювання і переміщення порід до базису денудації. Всі структурні лінії схилів проведені на основі супутникових даних за детальними цифровими моделями рельєфу з перетином у 1 м [9]. На позовдовжньому профілі схилів виділяються лінії опуклих і увігнутих перегинів. Саме в межах опуклих перегинів схилів фіксується збільшення крутизни, що також створює сприятливі умови для зсувоутворення. Нижня бровка схилу фіксує перехід схилу у вирівняну поверхню, але в місцях де відбувається розвантаження підземних вод різні види техногенних навантажень на геологічне середовище (підрізання схилу, засипання дрена) можуть впливати на втрату стійкості схилу і також стимулювати зсувну діяльність.

*Антропогенні зміни*, що відбулися за останнє де-



А

Б

**Рис. 4.** Приклад лінеаментного аналізу: А — за ЦМР, Б — за супутниковими даними

сятиріччя в ландшафтно-функціональній структурі міста відображені окремим шаром (Monitoring\_anthropogenic\_changes), де представлені результати порівняння даних з космічних знімків, починаючи з 2006 до 2016 року. Порівняння стану досліджуваної території проводилося в результаті аналізу космічного зображення та візуального дешифрування на космічному зображенні техногенних об'єктів, що з'явилися за останнє десятиріччя, в більшості випадків це нові будівлі, що з'явилися на місцях старих житлових кварталів та промислових зон, гаражів, пустирів, де вплив на геологічне середовище був поверхневим і мав стабільне навантаження. Поява новобудов у вигляді багатоповерхових будинків, приватних котеджів, нових під'їзних шляхів, що супроводжується переплануванням поверхні часто з підрізанням схилів, переміщенням великих мас ґрунту у зсувонебезпечних зонах та прилеглих до них місцях, сприяють виникненню зсувонебезпечних умов. Ризик активізації зсувів може бути спровоковано й суттєвими змінами гідрогеологічного режиму, порушенням геологічного субстрату, стану статичної рівноваги (підрізання схилу, будівництво, вібрація), вирубуванням зелених насаджень та аварійними ситуаціями, якто прорив чи виток з водонесучих систем. Тому інформація даного шару ГІС необхідна для створення карт ризику активізації зсувів і допомагає виявити техногенні чинники, що можуть стати пусковим механізмом зсувоутворення.

Необхідним і одним із основних для ГІС став шар

*уточнених контурів зсувів* за супутниковими даними (Refinad landslide\_contours). На даний шар внесені контури існуючих зсувних тіл, які увійшли до геологічного кадастру та нові тіла, що були виявлені нещодавно. Ідентифікація та картування зсувів виконувалися в результаті порівняння фактичної інформації з кадастру та уточнення їх меж за деталізованим рельєфом поверхні, де фіксуються бровки, перегини схилів, гребеневі і дренажні лінії певної конфігурації, що підкреслюють зсувне тіло і відокремлюють їх від інших схилів. В Центральній зоні Придніпровської зсувної зони існує ситуація, що давні зсуви мають загальну стінку відриву, їх циркоподібний профіль ускладнений природними процесами та антропогенною діяльністю, в тому числі і зсувозахисною — підпірними стінками, колодязями, валами, дренажними лотками. Тому форму і протяжність зсувів ми початково брали із попередніх звітів, а на весняних сучасних високоточних знімках, де видно, не тільки тальвеги, але й по-різному освітлені схили уточнювали їх контури і локалізацію. Як правило, всі існуючі зсуви мають статус стабілізованих і відносно стабільних, вони заліснені, з виконаним комплексом усіх необхідних зсувозахисних заходів. Нумерація зсувів збережена згідно існуючого кадастру. В атрибутивну таблицю даного шару внесені дані на кожен зсув з інформацією про місце розташування, коротку характеристику зсувної форми, її стан на 2005 рік за геологічними даними, на 2013 рік — за



даними Спеціалізованого управління підземних протизсувних робіт, на 2016 рік — за супутниковими даними з елементами прогнозу за комплексним аналізом дистанційних даних.

**Польові дослідження.** В рамках даного проєкту проведено ряд виїздів на польові дослідження з метою обстеження та відбору проб для визначення вологості ґрунту на зсувонебезпечних ділянках та для верифікації дистанційних даних. Були відібрані проби та виконані розрахунки вологості ґрунту на шести зсувонебезпечних ділянках. В результаті, як і очікувалось, найвологішим виявився ґрунт біля озера в Мишоловській балці відібраний в нижній частині схилу. Також порівняно вологим був ґрунт на поверхні мису над Лисогірським зсувом, тоді як найменші показники виявилися на ділянках середніх частин схилу району Лаври та Ботанічного саду ім. Гришка (рис. 5). Ділянки, які обстежувались розташовувались на верхніх частинах зсувних тіл, та мали достатню площу відкритих не заліснених поверхонь, які можна ідентифікувати та завітрити на космічних знімках. Під час польових робіт фіксувалась температура і вологість повітря, температура ґрунту в місцях відбору проб. Результати опробування показали, що за показниками вологості не вдалось виділити окремі ділянки, які мають найбільший ризик активізації зсувних процесів. За рахунок того, що період опробування був доволі сухий, середня вологість ґрунту у квітні коливалась від 15 до 45%. Залежність місця взяття проби та часу відбору представлена діаграмами на рис. 5 та 6.

З побудованих діаграм на рис. 6 видно, що вологість ґрунту протягом квітня майже не змінювалась в часі, але на окремих ділянках вона відрізнялась. Так, найбільш вологим виявився ґрунт у верхній частині Лисої гори, тоді як на зсувонебезпечній ділянці біля озера Глинка вологість ґрунту виявилася найменшою. Різницю можна пояснити лише складом поверхневих відкладів. На Лисій горі та в Ботсаду НАНУ, біля Іонівського мису ґрунти глинисті та важкосуглинисті, а біля оз. Глинка він техногенний, малогумусний піщаний.

**Оперативні обстеження зсувних ділянок.** Останнім часом у Києві формуються нові, невеликі за розмірами, але значні за наслідками зсуви спровоковані саме антропогенним чинником, які викликають широкий розголос серед киян. Автори статті періодично виконували обстеження ділянки активізованих зсувів (рис. 7).

Так, в серпні 2016 р. фахівці Центру провели обстеження зсуву і прилеглої ділянки на схилах долини Кловського струмка (вул. Мар'яненко), а в грудні 2015 р. на проспекті Лобановського (Червонозоряному), 14. Періодично проводився моніторинг стану зсувонебезпечних ділянок на схилах на Андрієвському узвозі, Замковій горі, в балці Мишоловка (див. рис. 7).

Зсув по вул. Мар'яненка знаходиться у нижній

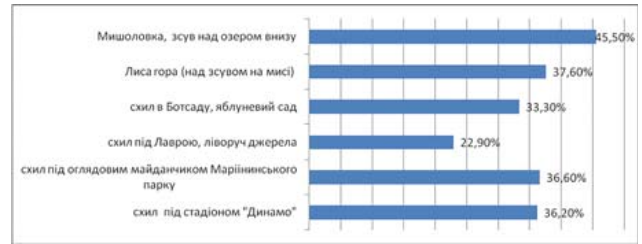


Рис. 5. Стан вологості ґрунту на 05.04.2016 р.

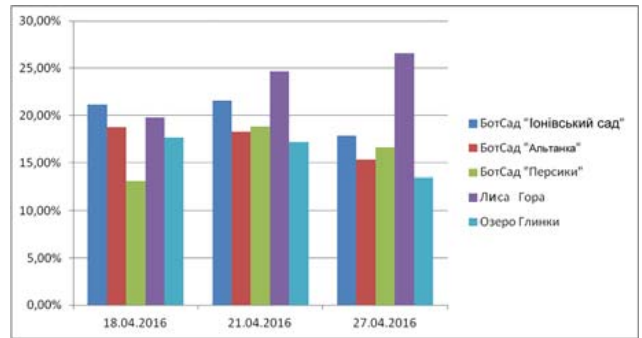
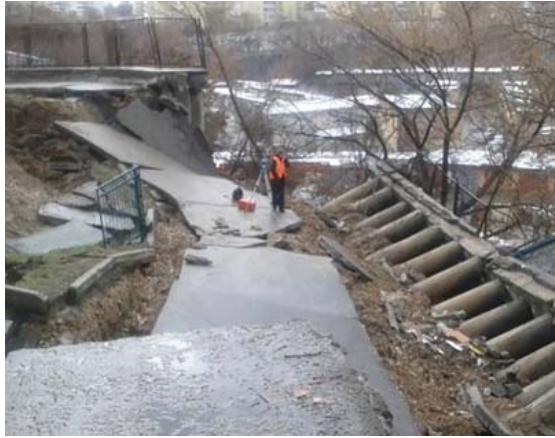


Рис. 6. Стан вологості ґрунту на різні періоди квітня 2016 р.

частині терасованого схилу, кут стінки відриву — 70°. У 60-х роках минулого сторіччя схил був забудований житловими будинками, тоді були виконані укріплювальні роботи та зроблені підпірні стінки і прокладені всі комунальні мережі, існувала штольня для відводу води, але вона вже давно зруйнована і її місцезнаходження визначити не вдалося. Зсув відбувся в схилі на нижній терасі в результаті прориву водопровідної мережі. Мало місце штучне замокання та перезволоження поверхні нижньої тераси, її переобтяження, а потім відколювання і опливання частини схилу розмірами 15 × 10 м. В результаті сповзання маси ґрунту був зруйнований гараж та приміщення складу. Треба відмітити, що будівництво, яке ведеться нижче зсуву по вул. Мечникова також порушує стійкість схилу, але, вочевидь, там зроблені підпірні стінки та виконуються всі необхідні заходи для будівництва у таких природних умовах.

Критичними для формування зсувів є схили з ухилом 30° і більше. Автори статті провели обчислення ухилів схилів і визначили дві критичні ділянки (рис. 8). Перша — це місце де відбувся зсув (стрімкість 40°), а друга знаходиться в північно-східній частині по вул. Кловський узвіз (стрімкість 39°). Пусковим чинником формування зсуву по вул. Мар'яненка виявився прорив водопроводу і перезволоження ґрунтових мас (див. рис. 8). Подібна ситуація склалася на проспекті Лобановського 14, де зсув відбувся на схилі 10 м заввишки, і відповідно з нахилом приблизно 26–43°. Геоморфологічні умови зсувоутворення були в значній мірі підсилені довготривалим виливом води з мереж водовідведе-





А



Б

Рис. 7. Фотографія зсуву: А — по проспекту Лобановського, 14 (грудень 2015 р.), Б — по вулиці Мар'яненка (серпень 2016 р.)

дення, дощами, та прорахунками будівельників. Тобто, навіть в умовах, де рельєф ще не досягає граничних меж ухилу (укоси менші за  $30^\circ$ ) інтенсивне обводнення призводить до виникнення обвалів і зсувів. Тому, таким необхідним стає уточнення меж зсувних тіл, активних зсувонебезпечних ділянок та прогнозних небезпечних зон.

У шарі Activated\_landslide\_area виділені ділянки, на яких зсуви були активізовані за останній час внаслідок тих чи інших дій та деякі з них перебувають в стадії активності і продовжують відноситися до категорії діючих. В більшості випадків активний зсув, той що відбувся нещодавно або процес відбувається й надалі, проявляється на зображенні освітленим тоном за рахунок відслонення геологічних порід, сповзанням мас ґрунту, слідами витоків води з під тіла зсуву. Найкраще такі явища відображаються на панхроматичних зображеннях або на знімках в зеленому та червоному спектральних діапазонах у вигляді яскравих світлих контрастних аномалій. Дані аномалії, звичайно, проявляються на зображенні меншою площею за рахунок стрімкості схилу і виглядають меншими ніж сама активна зона, яка проектується на горизонтальну поверхню. На схилах Центральної зсувної ділянки такі освітлені ділянки спостерігаються у вигляді потоків тільки після активного сповзання (рис. 9).

У табличному вигляді зведено дані про 20 активізованих зсувів, виділених на основі наших спостережень, а саме час їх активізації, причини виникнення, висота стінки зриву, базис ерозії, завданням збиткам. Також був створений каталог всіх даних моніторингу стану зсувних форм ПЗЗ Подільської, Центральної, Лаврської, Видубицької ділянок за супутниковими даними на період 2006, 2013 та 2016 роки з прив'язкою зсувів, їх стислими характеристиками та прогнозом ризику активізації. Нумерація зсувів подається за існуючим каталогом.

Автори статті провели моніторинг зсувної діяль-

ності в межах ПЗЗ. На 2006 рік активними вважалися наступні зсуви — Подільська ділянка — в схилі Сирецької балки, вул. Фруктова — вул. Захарівська (зсув №1), схил г. Щекавиця, вул. Нижньоюрківська, (№ 18), на Кудрявському узвозі та схилах Петрівського яру, вул. Воздвижінська (№ 25, 27), верхів'я Дігтярного і Гончарного яру, вул. Киянівська до їх впорядкування (№ 28), схил р. Дніпро, вул. Боричів Тік, західніше фунікулери, (№ 37); Центральна ділянка зсуви біля стадіону Динамо та Маріїнського палацу — зсув № XVIII, частково № XIX та ділянки Лаври та Залаврської № XXXIIIа. В процесі комплексу протизсувних заходів більшість з цих зсувів були стабілізовані або підтримувались спеціалізованим управлінням підземних протизсувних робіт (СУППР) у задовільному стані.

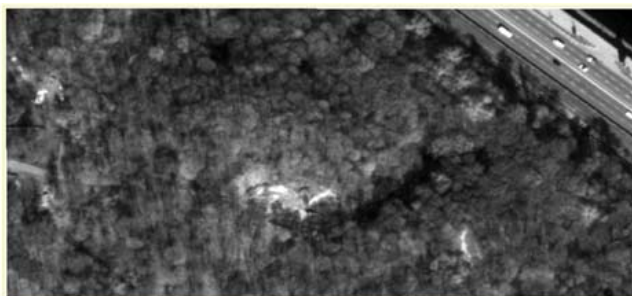
Активізацію зсувоутворення навесні та влітку 2013 року, як зазначалося вище, викликав гідрометеорологічний чинник. Тоді деякі з існуючих зсувних тіл активізувалися і виникли нові значні зсуви ґрунту. За рік їх кількість по м. Києву перевищила 18, а безпосередньо в Придніпровській зоні відбулись незначні зрушення ґрунту біля Арки Дружби народів та Маріїнського парку; більш вагомі — нижче Паркової дороги в районі Зеленого театру та Аскольдової могили. Тобто на Центральній ділянці прояви активізації відмічалися на зсувах №№ I, II, VIII, XVIII, XX, XXXI, XXXIII та на Лаврській ділянці № 3. Активізувалися схили Ботанічного саду ім. Гришка. Так в районі Княжого красного двору Ботанічного саду відбулось значне відколювання і зсув ґрунту в районах зсувів № 9 та № 10 Видубицької ділянки. Слід відмітити, що частіше активізація екзогенних процесів відбувалася на схилових частинах зсувних форм, у верхній частині тіла зсуву, але також спостерігається на мисових ділянках між зсувами в районі Арки дружби народів, Іонівського мису та Княжого красного двору Ботанічного саду НАНУ.

У 2014–2016 роках значна активізація не



**Рис. 8.** Ділянка зсуву по вулиці Мар'яненка.

1 — горизонталі; 2 — напрями поверхневого стоку; 3 — верхні бровки схилів; 4 — кути нахилу схилів у градусах та процентах; 5 — зсув



А



Б

**Рис. 9.** Активізована ділянка Придніпровського схилу: А — білі плями в центрі і нижньому правому куті — зсувонебезпечні ділянки, фрагмент КЗ, масштаб 1:1 000; Б — жовтий прямокутник — детальна ділянка на фрагменті КЗ, масштаб 1:10 000

відмічалась, проте продовжували розвиватися зсуви Мишоловської балки, незначні опливи відбувались безпосередньо на Дніпровському схилі в районі Ботанічного саду на Видубицькій ділянці. Протизсувні заходи були проведені на Лисогірській ділянці, де зсув над залізничною колією вздовж Столичного шосе був оперативно рекультивований. Після зливових дощів також були очищені штольні, зливостоки.

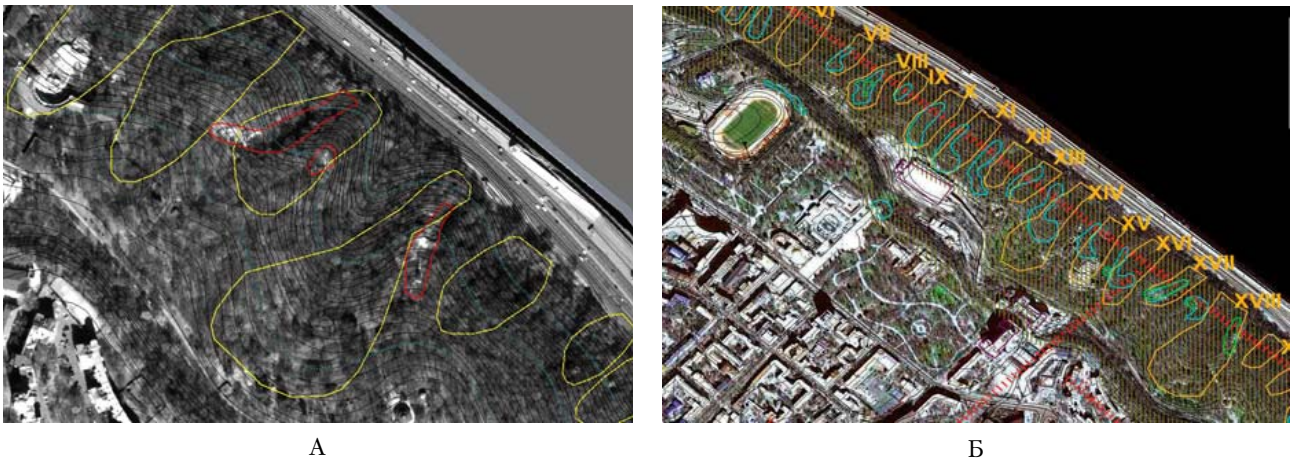
Протягом останніх років утворювалися нові зсувні ділянки пов'язані з техногенною діяльністю, що виникли внаслідок проривів водогонів (пр. Лобановського, вул. Мар'яненко) та внаслідок підрізання схилів на вул. Кіквідзе №№11–17 та 43, вул. Кіровоградській, Батиевій горі, на схилах гори Щекавиці до вул. Глибочицької та в схилах Юрківського яру. В активному стані залишаються схили Мишоловської балки (вул. Ягідна, Квітки-Основ'яненко, Корчуватівська, Кащенко, Весняна).

На основі моніторингу розвитку зсувної діяльності за останнє 10-річчя автори статті виділили прогнозовані ділянки та зсувонебезпечні зони вірогі-

дного виникнення та активізації зсувних процесів. Створено результуючі шари ГС, що були укладені на основі комплексування і аналізу усієї наявної інформації з врахуванням геологічних даних та супутникової інформації, отриманої у 2006 — 2016 рр. Виділено прогнозовані зони і ділянки з максимальним ступенем зсувонебезпечності, які склали 2 спеціалізовані шари ГС: 1 — *зони підвищеної небезпеки зсувоутворення* (Landslide-prone\_zone); 2 — *ділянки підвищеної небезпеки зсувоутворення* (Landslide\_risk\_area).

*Шар ризиків активізації зсувів* включає в себе небезпечні ділянки, які мають найбільшу вірогідність активізації в результаті дії одного або сукупності кількох чинників. В межах цих зон виділено окремі ділянки підвищеної небезпеки активізовані у 2013 році, а також ті, що досі є активними. Проведено класифікацію зсувонебезпечних зон, виділено три основні види. Зсувонебезпечні площі поділено на зони: *слабко небезпечні, помірно небезпечні, небезпечні*. До *небезпечних* відносяться схили, що мають потенційні умови для зсувоутворення, висота яких





А

Б

**Рис. 10.** Виділення активних та прогнозних зсувних ділянок за супутниковими даними: А — жовтий контур — зсувне тіло за геологічними та дистанційними даними, червоний контур — активізована ділянка схилу; Б — блакитний контур — ділянка ризику зсувоутворення

перевищує 40–50 м. Слабко небезпечні схили мають висоту 13–16 м. При класифікації враховувалась геоморфологічні чинники (висота та стрімкість схилів), наявність та характер рослинності на схилах, селищна та промислова забудова, що розташована біля верхньої або нижньої бровки враховувалися як дестабілізуючий чинник.

Ділянки підвищеного ризику в межах небезпечних зон мають чіткі контури і на даний момент неактивні (рис. 10 Б). Вони тяжіють до окремих елементів зсувних форм: південних схилів, верхів'їв, стінок зриву, деградованих мисів, верхніх опуклих ділянок схилів, що знаходяться в межах 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, витоптування, підрізання схилу, збільшення вологості ґрунту та рівня ґрунтових вод внаслідок баражів від будівництва),
- техногенні аварії,
- порушення режиму захисту схилів (руйнування підпірних стін, замулення штолень, зливостоків).

### Висновки

Зсуви — це природне явище. Вони існували і в доантропогенні часи, але нинішня активізація гравітаційних процесів на території міста спровокована масовою забудовою долин малих річок і великих балок. Спостерігається сповзання схилів корінного плато вздовж Дніпра в Придніпровській зоні, а також, так званих, київських гір (Батиева, Замкова, Багринова, Лиса, Черепанова та ін.) внаслідок підрізання схилів, порушення дренажу, надмірного навантаження будівлями з великими підземними паркінгами.

Супутникові дані та геоінформаційні технології є визначальною складовою моніторингу зсувоутворення з метою аналізу, прогнозу та візуалізації цих небезпечних явищ. Дослідження показало можливість розпізнання і визначення ступеню безпечності тих чи інших ділянок для життєдіяльності в межах міста Києва та безпосередньо в найбільш небезпечній Придніпровській зсувній зоні.

Зіставлення просторового положення зсувонебезпечних зон ПЗЗ, ділянок періодичної активізації зсувних процесів з результатами геолого-геоморфологічних досліджень і структурного дешифрування даних ДЗЗ дозволяють зробити висновок, що провідним чинником поширення та активізації ЕГП є розломно-тріщинні геодинамічні зони, особливо вузли їх перетину. Найбільша кількість зсувів приурочена до диз'юнктивів північно-західного та субмеридіонального простягання, що добре узгоджується з новітньою тектонікою району. Такі зони трасуються за даними ДЗЗ у вигляді лінійно організованих лінементів, які розглядаються як безпосередній прояв на земній поверхні систем розривів, закладених у кристалічному фундаменті, успадкованих осадочним чохлом і відображених у будові сучасного рельєфу.

Зрозуміло, що при посиленні іншого важливого чинника активізації ЕГП — гідрометеорологічного, саме в цих зонах прогнозується найбільша вірогідність активізації старих та виникнення нових зсувів

Високоточний детальний аерокосмічний моніторинг дає змогу фіксувати і передбачати розвиток гравітаційних процесів. Сподіваємось, що дане дослідження допоможе фахівцям з геоінформатизації міста Київ, архітекторам та будівельникам уникнути ризиків зсувоутворень при плануванні та проведенні будівельних робіт.



## Література

1. Активізація небезпечних екзогенних геологічних процесів за даними моніторингу ЕГП [Електронний ресурс] // ДНВП “Геоінформ України”. Щорічник 2016. — Режим доступу: [http://geoinf.kiev.ua/wp/wp-content/uploads/2016/08/2016\\_sch.pdf](http://geoinf.kiev.ua/wp/wp-content/uploads/2016/08/2016_sch.pdf). — Назва з екрану.
2. Барабаш М. Б. Сучасний стан режиму опадів на території України, як наслідок зміни клімату [Електронний ресурс] / М. Б. Барабаш, О. Г. Татарчук, Н. П. Гребенюк, Т. В. Корж. — Режим доступу: [http://uhmi.org.ua/conf/climate...1/Tatarchuk\\_Grebenuk.pdf](http://uhmi.org.ua/conf/climate...1/Tatarchuk_Grebenuk.pdf). — Назва з екрану.
3. Демчишин М. Г. Геологическая среда Киева / М. Г. Демчишин // Геологический журнал. — 1991. — № 2. — С. 14–24.
4. Кліматичні дані по м. Києву [Електронний ресурс] / Центральна геофізична обсерваторія. — Режим доступу: [http://www.cgo.kiev.ua/index.php?fn=k\\_klimat&f=kyiv&p=1](http://www.cgo.kiev.ua/index.php?fn=k_klimat&f=kyiv&p=1). — Назва з екрану.
5. Кріль Н. В. Техногенні динамічні впливи на геологічне середовище міста / Н. В. Кріль. — К.: Наукова думка, 2015. — 159 с.
6. Ліщенко Л. П. Мониторинг оползневых процессов на территории г. Киева (с использованием материалов дистанционного зондирования Земли) / Л. П. Ліщенко, А. Н. Тереманко // Проблемы та досвід інженерного захисту урбанізованих територій і збереження спадщини в умовах геоекологічного ризику. — К.: Фенікс, 2013. — VI. — С. 169–175.
7. Ліщенко Л. П. Дослідження зсувних процесів на території м. Києва в режимі дистанційного моніторингу [Електронний ресурс] / Л. П. Ліщенко, Н. В. Пазинич, О. М. Тереманко // Український журнал дистанційного зондування Землі. — № 2. — 2014. — С. 18–28. — Режим доступу: <http://www.ujrs.org.ua>. — Назва з екрану.
8. Пазинич Н. В. Анализ рельефа как компонента природно-техногенной системы города (на примере г. Киева) / Н. В. Пазинич // Проблемы та досвід інженерного захисту урбанізованих територій і збереження спадщини в умовах геоекологічного ризику / Під ред. В. М. Шестопалова, М. Г. Демчишина, В. О. Кендзери, Ю. О. Маслової. — Наукове видання. — К.: Фенікс, 2013. — VI. С. 176–182 ISBN 978-966-651-894-4.
9. Пазинич Н. В. Дослідження та прогнозування зсувних явищ Придніпровської зони м. Києва на основі матеріалів дистанційного зондування Землі та геоморфологічних методів [Електронний ресурс] / Н. В. Пазинич // Український журнал дистанційного зондування Землі. — № 13. — 2017. — С. 10–16. — Режим доступу: <http://www.ujrs.org.ua>. — Назва з екрану.
10. Самойленко Л. В. Інженерно-геологічні умови Правобережного схилу долини Дніпра в районі м. Києва: дис... канд. геол. н.: 04.00.07 / Самойленко Людмила Веніамінівна. — К.: ІГН НАНУ, 2003. — 135 с.
11. Старостенко В. И. Киев: геология, геофизика, окружающая среда и факторы на нее влияющие / В. И. Старостенко, П. И. Баран, Н. С. Баршевский // Геофиз. журн. — 2001. — № 4. — Т. 23. — С. 3–38.

## СПУТНИКОВИЙ МОНІТОРИНГ РАЗВИТИЯ ОПОЛЗНЕВЫХ ПРОЦЕССОВ В ПРИДНЕПРОВСКОЙ ЗОНЕ Г. КИЕВ

Л. П. Ліщенко, Н. В. Пазинич, В. Е. Филиппович

На основе современных мультиспектральных спутниковых данных высокого пространственного разрешения определено точное месторасположение оползней в г. Киев. Установлены факторы активизации оползневых процессов в режиме мониторинга, сделан прогноз возможной активизации оползней. Создана ГИС Приднепровской оползневой зоны г. Киев.

**Ключевые слова:** Приднепровская оползневая зона, материалы дистанционного зондирования Земли, факторы оползнеобразования, геоинформационная система, прогноз оползнеобразования

## SATELLITE MONITORING OF LANDSLIDE DEVELOPMENT IN THE PRIDNIEPROVSKA ZONE OF KYIV

L. P. Lischenko, N. V. Pazynych, V. E. Filipovych

Based on the multispectral satellite data of the high spatial resolution for the Pridnieprovsk landslide zone of the city of Kiev over the past decade the locations of modern landslide forms have been determined and refined according to a set of features, the landslide processes drivers have been found out in monitoring mode. Forecasting of the localities and zones of possible activation of landslide processes has been performed. The GIS of the Pridnieprovsk landslide zone was created.

**Keywords:** Pridnieproska landslide zone, remote sensing data, landslide drivers, forecasting of landslide phenomena, geoinformation system