

М. В. Арістов, к.г.н., доц.

АЕРОКОСМІЧНІ МЕТОДИ МОНІТОРИНГУ НЕСПРИЯТЛИВИХ ТА НЕБЕЗПЕЧНИХ ГЕОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ В УРБОГЕОСИСТЕМАХ (НА ПРИКЛАДІ МІСТА КИЄВА)

Розглянуто особливості вивчення процесів підтоплення, зсувів, ерозії, просідання та інших деформацій земної поверхні у містах з використанням сучасних космічних знімків. Особливо розглядається значення ендеодинаміки, зокрема, активних розломів. На прикладі Києва проаналізовано особливості виникнення несприятливих процесів, природні і техногенні фактори їх активізації.

Несприятливі природні та техногенно обумовлені явища в урбаністичних геосистемах

Сучасні великі та середні міста – складні, глибоко трансформовані геосистеми. Одна з основних рис трансформованих геосистем – активний зовнішній техногенний вплив на системи, повна або часткова зміна компонентів природного середовища, насичення території штучними спорудами, заміна частини зв'язків між елементами системи детермінованою дією технологічних процесів. В урбогеосистемах ці риси трансформованих геосистем проявляються особливо яскраво. Майже всі компоненти територіальних комплексів на території міських агломерацій зазнали істотної трансформації.

Важливість вивчення окремих процесів в урбогеосистемах зумовлена великою густотою населення на міських територіях, високою концентрацією споруд, будівель, виробництв на відносно невеликій площі. Густота населення у містах України, особливо в Києві, постійно зростає за рахунок постійного ущільнення забудови, причому не тільки в адміністративних кордонах міста, але й у приміській смузі. Для більшості великих та середніх міст України характерною рисою є також концентрація споруд та виробництв, істотна частина яких може бути віднесена до потенційно-небезпечних. У таких умовах найрізноманітніші процеси, навіть ті, що здаються малоактивними чи незначними, – або природні, або зумовлені чи активізовані внаслідок значного техногенного впливу на геосистеми – заслуговують пильної уваги. Нажаль, в новітній історії України чимало прикладів руйнувань та навіть людських жертв внаслідок дії процесів природного й техногенного походження – антропогенний сільовий потік у Києві, руйнівні зсуви у Дніпропетровську та Чернівцях, просідання земної поверхні та руйнування будинків у містах Донбасу. Навіть якщо не драматизувати ситуацію, варто зазначити, що інженерний захист територій та окремих споруд у ряді міст нашої країни потребує витрат у мільйони гривень щорічно, а постійне здороження землі та потреба у розвитку інфраструктури, особливо відчутні у Києві, вимагають застосування складних заходів для будівництва на крутосхилах, зсувонебезпечних та підтоплюваних ділянках, спорудження нових мостів, ділянок метро тощо.

Особливості використання даних космічних зйомок

Значення та переваги дистанційних методів, зокрема космічного знімання, при вивченні геосистем загальновідомі. Останнім часом, із появою на ринку космічних знімків з надвисокою роздільною здатністю (2,5 м і краще), що отримуються з супутників Quick Bird, IKONOS, EROS, Spot-5 та FormoSat, можливості космічних методів дослідження для вивчення міських, навіть щільно забудованих територій, значно розширилися. Роздільна здатність 0,8 – 2,5 м дозволяє ефективно вивчати компоненти урбаністичних геосистем, зокрема літогенну основу, рельєф, поверхневі та навіть підземні води, ґрунти, рослинність, будівлі та споруди, досліджувати фактори розвитку несприятливих природних процесів або процесів, зумовлених техногенним впливом на компоненти геосистем, та прогнозувати їхні наслідки.

Інтерпретація космічних знімків території великих та середніх міст має свої особливості. Щільна забудова, велика кількість будівель, споруд, конструкцій маскує прояви багатьох природних процесів, особливо підтоплення, суфозії, зсувів тощо. З іншого боку, велика кількість штучних поверхонь, рослинність садів та парків, різноманітні інженерні заходи суттєво змінюють спектра-

льні характеристики підстилаючої поверхні і змушують вносити істотні корективи до значень характеристик яскравості, які використовуються при вивченні складу ґрунтів, четвертинних відкладів, оконтуренні ділянок підтоплення та заболочування.

При вивченні несприятливих та небезпечних процесів на території міст України нами застосовувалися два основні підходи: перший – інтерпретація космічних знімків на основі індикаційного підходу, тобто виявлення змін у геосистемі на основі індикаторів, таблиць дешифрувальних ознак, одним словом, візуального чи «інтерактивного» підходу, другий – на основі вивчення кількісних характеристик зображення. Останній підхід базувався на використанні переваг космічних знімків з надвисокою роздільною здатністю (переважно Quick Bird) та космічних знімків із гіршим розрізненням, проте отриманих у декількох діапазонах спектру (переважно ASTER та Spot). При цьому застосовувалася технологія обробки космічних знімків двох типів за методикою субпіксельної класифікації.

Головні риси процесу субпіксельної класифікації – автоматичне визначення походження запису (сигнатури) спектру і послідовна класифікація, тобто розбивка пікселів на класи, а зображення – на ділянки (райони) відповідно до визначених класів. В даному випадку класифікація відбувається за змістом «матеріалу, що становить інтерес» (MOI – Material of Interest). Обробка змішаних пікселів (mixed pixels) – процес визначення спектральних складових, що належать до окремих матеріалів [5]. Такий підхід дозволяє визначити компоненти зображення, що виникають внаслідок зміни складу порід на схилах (що є ознакою зсувів, опливин, молодих ерозійних форм), рівня ґрунтових вод (що є ознакою підтоплення), змін у структурі ґрунтового покриву, рослинності тощо. Розглянемо важливі аспекти дослідження окремих явищ, властивих для урбаністичних геосистем, на прикладі Києва.

Тектонічні рухи та активні розломи як фактори геодинамічної небезпеки

На території Києва і пригородів за геологічними, геофізичними, дистанційними, геоморфологічними та іншими даними виділяються розломи різної глибини закладення, довжини й активності.

При вивченні розломної тектоніки Києва нами використовувалися космічні знімки, отримані в декількох діапазонах спектру, у тому числі, в інфрачервоному, із супутників Spot-3, ASTER і Quick Bird. За цими даним була складена схема лінеamentів з поділом лінійних аномалій за індикаційними ознаками та ступенем підтверджуваності. На підставі цієї схеми з урахуванням геологічних та геофізичних даних була побудована карта, відображена схематично на рис.1.

Київський розлом північно-східного напрямку, що просліджується вглиб Українського щита на десятки кілометрів. За геоморфологічними даними він чітко простежується у вигляді двох рівнобіжних відрізків. Краще виражена північна ділянка, до якої приурочені уступи лесових плато з властивим таким ділянкам комплексом екзогенних процесів. Блок між двома складовими Київського розлому зазнав впродовж неотектонічного етапу інтенсивних висхідних рухів. У його межах розташовані райони зі складними інженерно-геологічними умовами – Лук'янівка, Татарка, Шулявка. Є дані про активні ерозійні та зсувні процеси на схилах уздовж згаданих уступів, контрольованих розломом.

Розлом, що простежується від Борисполя до Димера, має північно-західне простягання. Він названий нами *Бориспільсько-Старопетрівським*. Даний розлом перетинає Бортничі, Дарницю і Харківський масив, далі трасується по заплаві Дніпра. Однак найбільш чітко він виявляється північніше адміністративної межі міста, де вздовж нього розташовується смуга виходів підземних вод, зсувів, відвершків глибоких ярів (у районі сіл Старі і Нові Петрівці). Важливо відзначити, що розлом проходить неподалік споруд Київської ГЕС [1].

Величезну роль у формуванні рельєфу і структур осадового чохла території Києва відіграла *Дніпровська розломна зона*, що розділяє Право- та Лівобережний блоки з різними амплітудами новітніх тектонічних рухів і напрямком розвитку рельєфу. Найбільш чітко виражені такі лінеаменти, що входять до Дніпровської зони: дугоподібний лінеамент, який трасується вздовж стрімкого правого берега від Подолу до Корчуватого; лінеамент уздовж депресії і серії уступів довготного напрямку, які розділяють Оболонський масив на мивних пісків і морено-задрову рівнину; лінеамент на Лівому березі від устя Десни до Південного мосту. Сучасні тектонічні рухи уздовж Дніпровських лінеаментів потребують ретельного вивчення, зокрема за допомогою високоточних геодезичних вимірів, у зв'язку з будівництвом нових мостів через Дніпро та спорудження житлових будинків у 18 і більше поверхів. Істотний розлом широтного напрямку, не відображений на наявних геологічних і тектонічних картах, проходить від с. Княжичі, через Дарницький залізничний вузол і далі по вузькій улоговині оз. Малий Тельбін. Правобережна частина розлому трасується по субширотному відрізку долини Либіді і далі – уздовж Совської балки до Жулян. Він одержав назву *Совсько-Дарницького*. Лінеамент виявляється за всіма космічними знімками, включаючи зображення у тепловому діапазоні (це обумовлено виходами ґрунтових вод у цій зоні) [1]. На Лівому березі із активністю даного розлому, порушеністю і перезволоженням ґрунтів у цій зоні можна пов'язати явища підтоплення й осідання будинків, у тому числі в районі вул. Привокзальної, деформації і прориви каналізаційної мережі. Також несприятливі інженерно-геологічні умови в зоні Совсько-Дарницького розлому на протилежному березі, зокрема в районах Саперної Слобідки та Червонозоряного проспекту.



Рис. 1. Активні розломи на території Києва, виявлені за даними інтерпретації космічних знімків

Лінеамент виявляється за всіма космічними знімками, включаючи зображення у тепловому діапазоні (це обумовлено виходами ґрунтових вод у цій зоні) [1]. На Лівому березі із активністю даного розлому, порушеністю і перезволоженням ґрунтів у цій зоні можна пов'язати явища підтоплення й осідання будинків, у тому числі в районі вул. Привокзальної, деформації і прориви каналізаційної мережі. Також несприятливі інженерно-геологічні умови в зоні Совсько-Дарницького розлому на протилежному березі, зокрема в районах Саперної Слобідки та Червонозоряного проспекту.

Інженерно-геологічні умови також істотно відрізняються в *структурних вузлах* – місцях перетину активних різноспрямованих розломів. У Києві такі ділянки як правило виражені у рельєфі як невеликі улоговини або розширення долин малих водотоків. У районі станції метро «Либідська» у структурному вузлі відзначені припливи вод з юрського горизонту. Відзначимо ділянки інтеграції активних розломів з ускладненням інженерних умов, деформаціями будинків і комунікацій у центральній частині Подолу; у промисловому районі між вул. Фрунзе і ст. метро «Петрівка»; у районі Голосіївської площі.

Підтоплення

Проблема підтоплення стає дедалі актуальнішою для багатьох міст України. Підтоплення, тобто процес підвищення рівня ґрунтових вод, істотно погіршує інженерні умови в містах, призводячи до зміни властивостей ґрунтів, погіршення стану фундаментів, підземних комунікацій, а також і до деформацій надземної частини будівель. Найбільш типові причини підвищення рівня ґрунтових вод у містах – підпір ґрунтових вод завдяки накопиченню мас води у водосховищах, втрати води на промислових підприємствах, несправність водопровідних та каналізаційних мереж, баражний ефект, конденсація вологи під будівлями, експлуатація підземних споруд [2, 3].

Використання даних космічних зйомок у видимому та ближньому інфрачервоному діапазонах дозволяє виявляти ділянки із високим (менше двох метрів) рівнем ґрунтових вод. Для цього використовуються як прямі ознаки – зміни коефіцієнтів яскравості поверхні, так і непрямі індикатори (зміни ґрунтів, рослинності, гіпсометрія поверхні та інші геоморфологічні індикатори). Наш досвід показав, що для виділення зон підтоплення в умовах великого міста необхідно на першому

етапі проводити зонування (районування) досліджуваної території за типом поверхні. Ці операції здійснюються на цифрових картах в середовищі ГІС. Ділянки, зайняті штучними покриттями – будівлі, поверхні, вкриті асфальтом, бетоном, шаром гравію або піску на цьому етапі виключаються з розгляду. Решта території поділяється на поверхні, зайняті трав'яною та чагарниковою рослинністю, прибережною рослинністю, деревною рослинністю, оголені плоскі поверхні та схили, кар'єри, виїмки і так далі. Для кожної з поверхонь вивчаються коефіцієнти спектральних яскравостей, визначені за багатозональними космічними знімками. При цьому використовується метод змішування яскравості пікселів, відомий у дистанційному зондуванні як Subpixel Transformation.

На території Києва ділянки підтоплення були визначені у районі Подолу, промисловому районі між Гаванню та метро «Петрівка», на Першотравневому масиві, Південній Борщагівці, Осокорках, дачних масивах Нижніх Садів, у районі заводу «Буревісник» тощо. Характерною рисою процесів підтоплення є сезонність, особливо помітна на Лівому березі, та спорадичність – часто ділянки з високим рівнем ґрунтових вод, що сформувалися на локальних водотривах, межують з абсолютно надійними в інженерному відношенні територіями. На рис. 2 показаний космічний знімок, опрацьований за описаною у даній статті методикою. Він демонструє ділянки, віднесені до підтоплених, на території одного з промислових підприємств. Найбільш наочно коливання рівня ґрунтових вод розрізняються на незабудованих відкритих ділянках.

Зсуви та інші схилі процеси

На території Києва налічується понад сто зсувів, які знаходяться на різній стадії активізації. Найбільш складана, але й найбільш вивчена ділянка розвитку зсувних процесів – крутосхили правого борту долини Дніпра, від Видубецького монастиря до Подолу. Н цій ділянці розташована велика кількість споруд, що становлять величезну історико-архітектурну і духовну цінність. Блокові зсуви на схилах Дніпра утворюють два яруси, в середній частині даного району кільканадцять древніх зсувних тіл утворили зсувну терасу [2, 3, 4].

Окремі зсувні тіла, що знаходяться у різній стадії активізації, добре дешифруються на космічному знімку Quick Bird, а також візуалізовані на окремих тривимірних моделях рельєфу, які були отримані в середовищі ГІС при накладанні космічного знімку на цифрову модель рельєфу. Найбільше занепокоєння викликають дві ділянки. Перша – на території Лаври, де впродовж 2005 – 2006 рр. відбулися інтенсивні подвиги ґрунту, навіть незважаючи на існування захисних споруд – контрфорсів, підпірних стінок. Друга – в районі фунікулера та Андріївського узвозу, де існують, як малоактивні, так і активні зсуви.

У Сирецькій балці, Бабиному яру розташовані зсуви-потоки [3]. Виявлення цих зсувів за космічними знімками, навіть надвисокої роздільної здатності, викликає утруднення. Найбільш небезпечними можна вважати ділянки з найбільшою крутизною схилів балки, ділянки із свіжими опливами, місця скидання стічних вод. Усього виділено 16 потенційно-небезпечних ділянок схилів Сиренської балки та її приток, 11 з яких розташовані на її правому схилі.

На території міста виділяються також інші ділянки ймовірних зсувів, приурочені до Совської балки, Куминоного яру, Наводницької балки; викликають занепокоєння райони в історичному центрі міста – урочища Гончарі та Кожум'яки, схил лесового плато нижче вул. Ярославів Вал. Причинами активізації зсувів можуть бути як природні явища – сезонні коливання гідрогеологічного режиму, інтенсивні дощі та сніготанення, суфозія та ерозія, так і стрімко зростаюче техногенне навантаження. Техногенні фактори активізації зсувів на території Києва – забудова ділянок над бровками схилів та навіть на самих схилах; скидання вод із зливової каналізації, приватних будівель, підприємств; техногенний підйом рівня ґрунтових вод; захаращення русел малих київських річок; поступове старіння протизсувних конструкцій.

Ерозійні процеси. Незважаючи на те, що велика кількість ярів та балок на території Києва засипана та спланована, а в більшості існуючих стік зарегульований, а схили укріплені, терасовані або тим чи іншим чином стабілізовані, дані дешифрування космознімків Quick Bird показують, що подекуди сучасні ерозійні процеси мають місце. Вторинний вріз, регресивна ерозія відвершків відмічена у долині р. Сирець, у Глибочицькій балці, у Совській балці та Китаєві.

Висновки

Дані дистанційного зондування, особливо у комплексі з даними наземних досліджень, дозволяють здійснювати ефективне вивчення та оперативний моніторинг несприятливих та небезпечних природних і техногенно зумовлених явищ в урбогеосистемах. У той же час, використання даних

ДЗЗ в умовах великих і середніх міст вимагає спеціальних підходів, які дозволяють проникати «крізь» забудову та штучні поверхні. Окрім звичного індикаційного підходу, автором пропонується застосовувати метод субпиксельної класифікації для визначення кількісних характеристик гео-зображень.

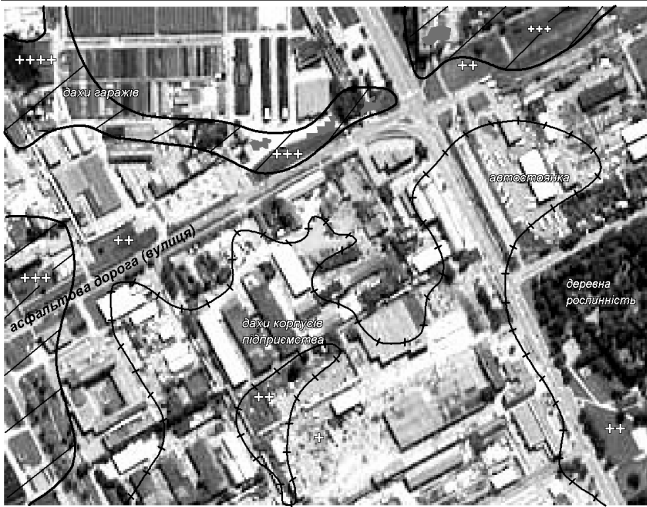


Рис.2 Фрагмент космічного знімку, обробленого за допомогою субпиксельної класифікації (вихідний знімок отримано з КА "Quick Bird". Ділянки підтоплення показані штриховкою

Несприятливі процеси у Києві виникають в умовах взаємного впливу природних та штучних компонентів геосистем, двостороннього впливу на елементи системи – природних процесів і технологічних (антропогенно зумовлених) процесів. В умовах Києва при планувальних, проектних, будівельних роботах необхідно звертати увагу насамперед на підтоплення, зсуви та просідання лесових товщ, яке також часто провокується підтопленням, а також на деформації поверхні і верхньої частини надр, зумовлені новітніми та сучасними тектонічними процесами. Менш суттєвими процесами є характерні для окремих ділянок міста лінійна та площинна ерозія, процеси повільного руху матеріалу за схилами (кріп). За активністю розвитку несприятливих та небезпечних процесів місто

можна поділити на декілька районів. Найбільш складною є ситуація в історичному центрі міста, у верхній частині Печерська, на Подолі, Сирці, Совках. Найменша активність згаданих процесів відмічається на переважній території Лівого берега та на окремих ділянках Правого берега, що відзначаються слабо розчленованим рельєфом та низьким рівнем ґрунтових вод.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Аристов М. В. Эндогеодинамика Киева. Тектонический аспект экологической и техногенной безопасности большого города // Научный вестник Национального горного университета. – С. 85 – 90.
2. Баршевский Н. Е., Купраш Р. П., Швыдкий Ю. Н. Геоморфология и рельефообразующие отложения района г. Киева. – К.: Наукова думка, 1989. – 196 с.
3. Островерх Г. Б. Фактори та критерії оцінки стійкості рельєфу урбанізованих територій (на прикладі м. Києва). Автореф. дисер. канд. геогр. наук. – К.: Інститут географії. – 1999. – 24 с.
4. Самойленко Л. В. Визначення стану стійкості правобережного схилу долини Дніпра в районі Києва (на підставі розрахунку коефіцієнта стабільності). // Геологічний журнал. – 2004. — № 1. – С. 101 – 107.
5. ERDAS Image Subpixel Classifier: User's Guide. – Atlanta, GA, Leica Geosystems, 2003. – 125 p.