

О.М. ТРОФИМЧУК, д.т.н., проф., член-кор. НАНУ,
заступник директора Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору
НАН України, м. Київ
Ю.І. КАЛЮХ, д.т.н., проф.,
завідувач лабораторії, Державне підприємство «Державний науково-дослідний інститут
будівельних конструкцій», м. Київ

УДК 504.1

ВИКОРИСТАННЯ ІНФОРМАЦІЙНО-КОСМІЧНОГО КАРТОГРАФУВАННЯ ДЛЯ АНАЛІЗУ ЗСУВНОЇ НЕБЕЗПЕКИ (НА ПРИКЛАДІ ХАРКІВСЬКОЇ ОБЛАСТІ)

Ключеві слова: інформаційно-космічні технології, картографування, зсув, ризик, небезпека.

Наведено приклади застосування сучасних інформаційно-космічних технологій у поєднанні з інженерно-геофізичною інформацією та ГИС-технологіями для побудови карт зсувного ризику в регіональному та інших масштабах.

Приведены примеры применения современных информационно-космических технологий в сочетании с инженерно-геофизической информацией и ГИС-технологиями для построения карт оползневого риска в региональном и других масштабах.

Examples of application of modern information and space technologies, combined with engineering and geophysical information and GIS technology for building maps of landslide risk in the regional and other scales are represented.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими практичними завданнями. Як відомо, Україна відноситься до країн з інтенсивним розвитком промислових та сільськогосподарських галузей народного господарства при високій густоті населення. У зв'язку з цим техногенні навантаження на геологічне середовище в Україні та процеси, що відбуваються в ньому, перевищують аналогічні показники в сусідніх країнах у 5...15 разів. Майже 90% територій населених пунктів піддаються впливу постійно діючих небезпечних геологічних процесів [1].

Подовження без морозного періоду та зростання опадів у поєднанні з техногенним обводнюванням призвели до підйому рівня ґрунтових вод, особливо в лесах міст півдня та сходу України. У мікрорайоні Тополь-1 у Дніпропетровську за десять років він склав 17 м [2]. При довгостроковій дії води, що протікає, леса деградують. Жорсткі сольові ґрунтові зв'язки між частками розчиняються. Пори заповнюються колоїдним розчином, ґрунт перетворюється в безструктурний пливун [2]. Зумовлені обводнюванням зміни структури та властивостей в інших ґрунтах на відміну від лесів зворотні, але не менш небезпечні. Загроза суфозійних провалів посилилась у Києві, карстових – у західних областях, зсувів – на півдні, сході і в районах Прикарпаття. На земній поверхні прояви негативних процесів мають форму обвалень і просідань, з утворенням вирв, ґрунтових порогів і тріщин, осідань, з утворенням мульд із похилими краями і деформацій кривизни та розтягнень – стиснень, або форму динамічних (сейсмічних і вібраційних) коливань. Особливу небезпеку становлять непрогнозовані обвалення земної поверхні та великі сейсмічні поштовхи, що призводять до раптових руйнацій наземних та підземних споруд з людськими жертвами.

Аналіз останніх досліджень і публікацій, у яких започатковано розв'язання проблеми. Дослідження з питань захисту будівель та споруд від руйнівних дій процесів, що виникають у складних ґрунтових умовах, виконувало багато фахівців і наукових колективів. Найбільш значний внесок зробили відомі фахівці: М.Ю. Абелев, Е.В. Безугла, А.І. Білеуш, О.А. Бартоломей, І.П. Бойко, Ю.Л. Винников, М.Н. Гольдштейн, М.Г. Демчшин, О.М. Дранніков, М.П. Дубровський, М.Л. Зоценко, В.О. Іллічов, Ю.О. Кіричек, Е.Я. Кільвандер, С.Ф. Клованич, С.М. Клепиков, М.В. Корнієнко, І.М. Літвінов, П.З. Луговий, М.М. Маслов, Ю.І. Немчинов, О.В. Новський, О.О. Петраков, В.М. Пивонос, А.М. Рижов, В.Л. Седін, Ю.О. Соболевський, В.В. Соколовський, В.Г. Таранов, Г.І. Черній, В.Г. Шаповал, Г.М. Шахунянц, В.Б. Швець, О.В. Школа, В.С. Шокарев, В.М. Улицький, Є.О. Яковлев та ін. [1–7]. Роботи цього напрямку достатньо різнопланові. Частина їх присвячено дослідженням у тих чи інших конкретних умовах розвитку деформаційних ґрунтових процесів. У цих дослідженнях після тривалих спостережень у натурних умовах на емпіричній основі розроблялись розрахунки очікуваних осідань та деформацій земної поверхні, розмірів вирв обвалення та інших показників, що характеризують протікання та виявлення дії цих процесів на земній поверхні. Інші роботи присвячено дослідженням розрахунків споруд і будівельних конструкцій у зонах дії цих процесів. На основі цих та інших досліджень для окремих деформаційних і руйнівних процесів, що виникають у складних ґрунтових умовах, розроблено методи розрахунків оптимального або максимально можливого рівня осідань і деформацій та методи розрахунків за цими показниками оптимальних конструктивних і ґрунтових захисних заходів, призначених для запобігання пошкоджень та руйнацій конструкцій будівель і споруд.

Виділення не розв'язаних раніше частин загальної проблеми, яким присвячується стаття. Зсуви треба вважати одним із найбільш рельєфоутворюючих процесів, що є, як правило, результатом дезінтеграції гірських порід схилу під впливом природних та техногенних факторів. Особливо небезпечним є їх поєднання, що може суттєво вплинути на масштаби і характер явища. Загалом на території України виявлено близько 23 тис. зсувів. Найчастіше зсуви, що виникають на схилах різної крутизни, за розмірами руйнувань досягають по фронту від 5 – 100 м до 200 – 300 м і по падінню укосу – 15 – 200 м, а іноді й більше. Об'єми великих зсувів можуть досягати сотень тисяч кубічних метрів порід [5].

Серед факторів, які впливають на формування зсуву, треба назвати природні (атмосферні осадки, знакозмінні температури повітря, сейсмічні впливи землетрусів, сила та напрям вітру та ін.) та техногенні (будівництво споруд та будівель, які впливають на картину силових полів; вібраційні впливи транспорту, вибухові роботи поблизу схилів, що викликають сейсмічні та ударні повітряні хвилі, зміну водного режиму при порушенні експлуатації комунальних систем тощо).

Усе це відбувається на фоні глобальних структурних перебудов планетарного життя, відмічених багатьма дослідниками, а також пов'язаних з цими перебудовами могутніх імпульсів різноманітних сейсмічних (ендогенних), екзогенних і соціальних (регіональних і локальних) катаклізмів. Таким чином, ми маємо достатньо загрозливий прогноз на майбутнє і не видно, щоб хто-небудь серйозно цей прогноз намагався спростувати. Два вектори – деградація засобів захисту і зростаюча ймовірність

природних катаклізмів – повинні зійтись в якихось точках часу-простору. Чи знайдеться третій вектор, щоб їх розвести [1]?

Постановка мети. Оцінка ступеня небезпеки розвитку зсувів (як гравітаційних, водно-гравітаційних і ерозійно-гравітаційних процесів) для територій міст і населених пунктів, захист від них ділянок, що відводяться під забудову будівель і споруд, зводиться до завдань трьох типів, що істотно відрізняються за спрямованістю, масштабами і методами вирішення [8]:

1. Завдання, які пов'язані з розробленням рекомендацій щодо попередження та локалізації розвитку зсувів і захисту на великих територіях. Ці завдання розв'язуються переважно на основі узагальнених якісних оцінок зсувної небезпеки [9].
2. Завдання, які пов'язані з оцінюванням міри зсувної небезпеки і захисту від зсувів конкретних ділянок міських територій. У першу чергу це стосується тих ділянок, що відводяться під забудову, або зсувних ділянок існуючих будівель і споруд [10, 11].
3. Завдання щодо визначення розрахункових показників для вибору оптимальних варіантів при проектуванні протизсувних споруд інженерного захисту конкретних територій і об'єктів [12].

Виклад основного матеріалу дослідження. Для вирішення завдань 1–3-го типів у США та інших розвинутих країнах Заходу широко використовуються сучасні методи із застосуванням інформаційних та космічних технологій: дистанційне зондування земної поверхні, InSAR-зображення та LiDAR-зображення [13, 14].

Дистанційне зондування земної поверхні (прикладі показано на рис. 1 – 2). За його допомогою може бути ідентифіковано: рослинний покрив, рельєф, напрямки стоку, характер дренажу ґрунту, геологічні характеристики корінних порід, поверхнева геологія, типи зсувів і взаємозв'язок з іншими факторами.

Ретельне вивчення означеної ділянки місцевості за допомогою перспективних аерофотознімків і вертикальної стереопари можуть дати важливу інформацію про тип і частоту зсувів й ефективність протизсувних заходів. Порівняльний аналіз недавніх і минулих аерофотознімків досліджуваної області повинен проводитися, якщо можливо, як тільки старі зсуви стануть менш помітними на більш пізніх фотографіях. Особливості, які помітні на аерофотознімках, можуть допомогти користувачам визначити тип зсуву й удосконалити обґрунтовані оцінки характеристик покривних порід. Це в свою чергу дасть можливість оцінити зсувний ризик (небезпеку) місця для забудови.

InSAR-зображення. InSAR є аббревіатурою інтерферометричної РЛС із синтезованою апертурою. Обидва зображення – InSAR і LiDAR (буде описано нижче) – використовують активні датчики випромінювання імпульсу енергії (зі супутника) і запис поверненого сигналу із землі на датчик. Більшість випромінювань InSAR-обладнання здатні проникати крізь туман і дощ, а також можуть бути використані у важкодоступних для людини місцях (рис. 3).

Завдяки відбитому від землі сигналу з радіолокаційного супутника можна отримати цифрові карти моделі рельєфу (DEM), які будуть показувати рельєф земної поверхні. Два зображення одного і того ж місця приймаються в різний час, а потім поєднуються, утворюючи карту під назвою інтерферограма. Злиття двох зображень показує зсув ґрунту (якщо такий є) завдяки тому,

що відображається будь-який рух, який стався в період між двома зображеннями, котрі були прийняті супутником. Таким чином, можна визначити, що схил пагорба, наприклад, «переїхав». Звичайний радар супутника на типовій навколосемній орбіті має дуже погану роздільну здатність – від 3 до 4 миль зображення землі через обмежений розмір антени. РЛС із синтезованою апертурою (SAR) використовує рух космічного корабля вздовж його орбітальної траєкторії для оперативного математичного відновлення (синтезу) зображень за допомогою великої антени. На виході маємо зображення високої роздільної здатності.

LiDAR-зображення. LiDAR є аббревіатурою для лазерних далекомірів, відомих як ALSM або повітряно-десантний лазер смугового (рядкового) картографування. Використовується вузький лазерний промінь, щоб досліджувати поверхню землі крізь щільний трав'яний покрив, а також крізь дерева. LiDAR може будувати точні карти місцевості навіть там, де лісовий покрив заважає традиційній фотографії. Техніка дає дуже точні цифрові моделі карти рельєфу (DEM) (рис. 4). Точна цифрова модель карти рельєфу голої землі може бути зроблена тоді, коли зображення отримано в сезон без листяного покриву в районах, покритих листяними лісами.

Суттєвими елементами картографічної системи LiDAR є скануючий лазерний далекомір, встановлений у літак диференціальної системи глобального позиціонування (GPS), для визначення місцезнаходження літака, і внутрішні одиниці виміру (IMU) для визначення орієнтації літака.

LiDAR є корисним інструментом топографічного картографування з трьох причин. По-перше, це точність, по-друге – продуктивність; вимірювання проводяться зі швидкостями від 10 000 до 80 000 лазерних імпульсів у секунду. По-третє, LiDAR є моноскопічним і забезпечує власне підсвічування. Ці характеристики дозволяють подолати основні недоліки фотограмметрії в лісистій місцевості. Карти виробництва LiDAR дуже чіткі і докладні й у багатьох випадках дозволяють виявити свідчення наявності минулих зсувів, які практично невидимі, за допомогою інших засобів у зв'язку з густим рослинним покривом. Система LiDAR є дорогою і високотехнологічною, використовується в основному державними установами, університетами і деякими приватними особами. Одним із недоліків є те, що багато систем LiDAR використовують інфрачервоні лазери, які не проникають крізь туман або дощ.

В Інституті телекомунікації та глобального інформаційного простору Національної академії наук України створені ефективні програмні засоби комп'ютерної реалізації оцінювання зсувної небезпеки локального та регіонального рівнів на основі системного поєднання картографічного аналізу знімків, отриманих за допомогою дистанційного зондування земної поверхні, математичного моделювання та ГІС-технологій. В основу запропонованої структури інформаційної системи зсувонебезпечних схилів було покладено власну розробку бази даних (БД) і геоінформаційної системи (ГІС) (рис. 5). Розроблена БД має інформаційно-довідковий характер відносно п'ятдесяти двох паспортів зсувних ділянок Харківської області стислої форми і даних відносно суми опадів по метеостанціях Харківської області за двадцять років (1983 – 2002 рр.) (рис. 6).

Інформація може бути використана при експрес-оцінці ризику зсувоутворення. ГІС включає багат шарову

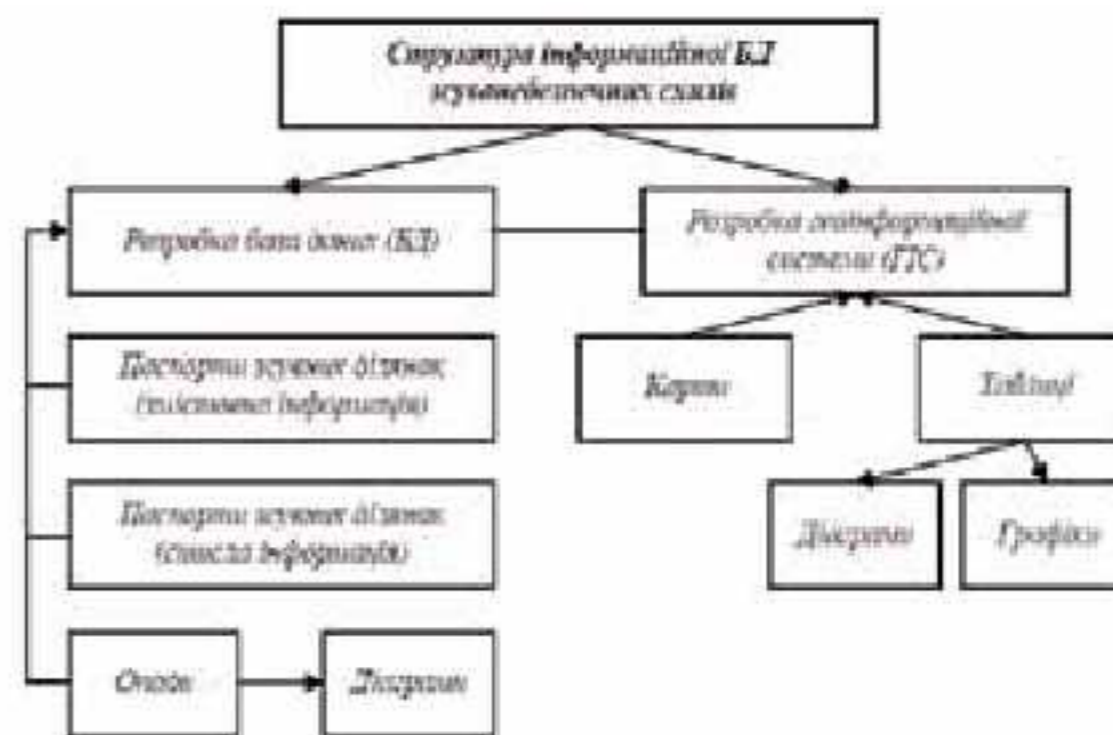


Рис. 5. Структура інформаційної БД зсувонебезпечних схилів

інформацію про рельєф, крутизну схилів, гідрографічну мережу, дорожні смуги, зсувні ділянки та ін. Характерним для рис. 6 є те, що зі зменшенням відстані між дорогою та зсувом кількість останніх зростає. Хоча територія Харківської області є невеликою за розмірами, її основна частина уражена зсувними процесами, які потребують постійного контролю. Встановлені наступні зв'язки між зсувними процесами та причинами їх виникнення:

- «щільність зсувів – площинне підтоплення»;
- «щільність зсувів – щільність річкової мережі»;
- «зсуви – крутизна схилів»; «зсуви – тектоніка»;
- «зсуви – щільність дорожньої мережі».

Більш вагомим у цьому випадку є зв'язок «щільність зсувів – щільність річкової мережі», оскільки спостерігається територіально розвинуте порушення рівноваги схилів. Прямого зв'язку «щільність зсувів – площинне підтоплення» у територіальному плані Харківської області практично не простежується, оскільки підтоплення переважно розвинене на слабкостічних рівнинних ділянках, більш-менш віддалених від схилів. Відсутній прямий зв'язок активізації зсувів з тектонічною активністю та горизонтальною розчленованістю території; існує досить слабкий зв'язок з літологічним типом зсувного деформуючого горизонту і порівняно тісний зв'язок із крутизною схилу.

Домінуючим чинником у розвитку чи активізації зсувів на переважній частині території Харківської області виступає техногенний фактор.

По-перше, практично скрізь, де розповсюджена велика кількість зсувів, у межах територій знаходяться в аварійному стані або, взагалі, вийшли з ладу комунікаційні системи (у цьому випадку яскравим прикладом може слугувати ситуація, що склалася навколо м. Харкова), низька ефективність дренажної системи, у деяких місцях відсутня система зливової каналізації.

По-друге, спостерігається ведення господарської діяльності зі значними порушеннями допустимих норм (розорювання земель під сільськогосподарські угіддя поблизу прояву зсувів, викорчування дерев).

По-третє, динамічний вплив транспорту – зі зменшенням відстані між дорогою та зсувом кількість останніх зростає.

Приклади розв'язання завдань другого та третього типу наведені в роботі [15] (обмеженість обсягу даної публікації не дозволила їх навести).

ВИСНОВКИ:

1. Застосування сучасних інформаційно-космічних технологій картографічного аналізу (дистанційне зондування земної поверхні, InSAR- та LiDAR-зображення) у поєднанні з інженерно-геофізичною інформацією (результатів буріння свердловин для дослідження складу ґрунтів схилів, їх фізико-механічних характеристик та ін.) та ГІС-технологіями дозволяють за обмежений проміжок часу отримати карти зсувного ризику в регіональному та більш дрібному масштабі.
2. Наведено створені в Інституті телекомунікації та глобального інформаційного простору НАН України ефективні програмні засоби комп'ютерної реалізації оцінки зсувної небезпеки локального та регіонального рівнів на основі системного поєднання картографічного аналізу знімків, отриманих за допомогою дистанційного зондування земної поверхні, математичного моделювання та ГІС-технологій.
3. Домінуючим чинником у розвитку чи активізації зсувів на переважній частині території Харківської області виступає техногенний фактор. По-перше, практично скрізь, де розповсюджена велика кількість зсувів, у межах територій знаходяться в аварійному стані або, взагалі, вийшли з ладу комунікаційні системи (у цьому випадку яскравим прикладом може слугувати ситуація, що склалася навколо м. Харкова), низька ефективність дренажної системи, у деяких місцях відсутня система зливової каналізації. По-друге, спостерігається ведення господарської діяльності зі значними порушеннями допустимих норм (розорювання земель під сільськогосподарські угіддя поблизу прояву зсувів, викорчовування дерев). По-третє, динамічний вплив транспорту – зі зменшенням відстані між дорогою та зсувом кількість останніх зростає.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Глебчук, Г.О. Аспекти комплексного впливу підтоплення земель та сейсмопроцесів на регіональну активізацію зсувоутворення / Г.О. Глебчук, Є.О. Яковлев // Будівельні конструкції. – 2012. – Вип. 76. – С. 300 – 306.
2. Бабич, Ф.В. Аналіз разрушення застроенного склону (1971–2010гг.) / Ф.В. Бабич, В.Л. Седин // 36. наук. пр. ПолтНТУ ім. Ю. Кондратюка. – 2010. – Вип.3(28) – С. 21 – 25. – (Серія: галузеве машинобудування, будівництво).
3. Оползни. Исследование и укрепление под ред. Р. Шустера и Р. Кризека; пер. с английского. – М.: Мир. 1981. – 368 с.
4. Снисаренко, В.И. Одесские склоны и оползни / В. И. Снисаренко, В. А. Гришин. – К.: МП «Леся», 2008. – 300 с.
5. Демчишин, М.Г. Современная динамика склонов на территории Украины / М.Г. Демчишин. – К.: Наук.думка, 1992. – 254 с.
6. Зоценко, М.Л. Підвищення структурного зчеплення ґрунтів шляхом їх цементації за бурозмішувальною технологією / М.Л. Зоценко // Строительство, материаловедение, машиностроение: Сб. науч. трудов. Вып. № 56. – Д.: ПГАСА, 2010. – С. 194 – 198.
7. Kilvander, E.Ya. On calculation of natural oscillation period of landslide slopes / E.Ya. Kilvander, O.V. Snezhko // XIIIth European conference on soil mechanics and geotechnical engineering: Int. conf., 25 – 28 august 2003. – Prague, 2003. – P. 649 – 652.
8. Чёрный Г. И. О классификации математических моделей для различных задач механики горных пород / Г.И. Чёрный // Труды УШ сессии Совета по народнохозяйственному использованию взрыва. – К.: Наук. Думка, 1970. – С. 20 – 26.
9. Закон України. «Про планування та забудову територій» від 20 квітня 2000 року № 1699-III. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon.rada.gov.ua/cgi-bin/laws/main.cgi?nreg=1699-14>.
10. Держкоммістобудування України. Система містобудівельного кадастру населених пунктів України. – К.: Знання. 1994. – 39 с.
11. Містобудування. Планування і забудова міських і сільських поселень: ДБН 360-92*. – [Дійсні 1992-04-17]. – К.: Будівельник, 1992. – 46 с. – (Нормативний документ Минрегіонбуду України).
12. Інженерний захист територій будівель та споруд від зсувів та обвалів. Основні положення : ДБН В.І.І-3-97. – [Дійсні 1997-07-01]. – К.: Держбуд України, 1998. – 40 с. – (Нормативний документ Минрегіонбуду України).
13. U.S. Geological Survey, 2005, Monitoring ground deformation from space: U.S. Geological Survey Fact Sheet FS – 2005 – 3025.
14. Highland, L.M. The landslide handbook – A guide to understanding landslides: Reston, Virginia U.S. Geological Survey Circular 1325. – 2008. – P. 17 – 20.
15. Вплив природних та техногенних землетрусів на ґрунти присхилових масивів та їх системний аналіз / [О.М. Трофимчук, Ю.І. Калюх, Т.Ю. Калюх та ін.] // Будівельні конструкції. – 2012. – Вип. 76. – С. 251 – 262.

**РИСУНКИ ДО СТАТТІ О.М. ТРОФИМЧУК, Ю.І. КАЛЮХ,
«ВИКОРИСТАННЯ ІНФОРМАЦІЙНО-КОСМІЧНОГО КАРТОГРАФУВАННЯ ДЛЯ АНАЛІЗУ ЗСУВНОЇ НЕБЕЗПЕКИ
(НА ПРИКЛАДІ ХАРКІВСЬКОЇ ОБЛАСТІ)»**

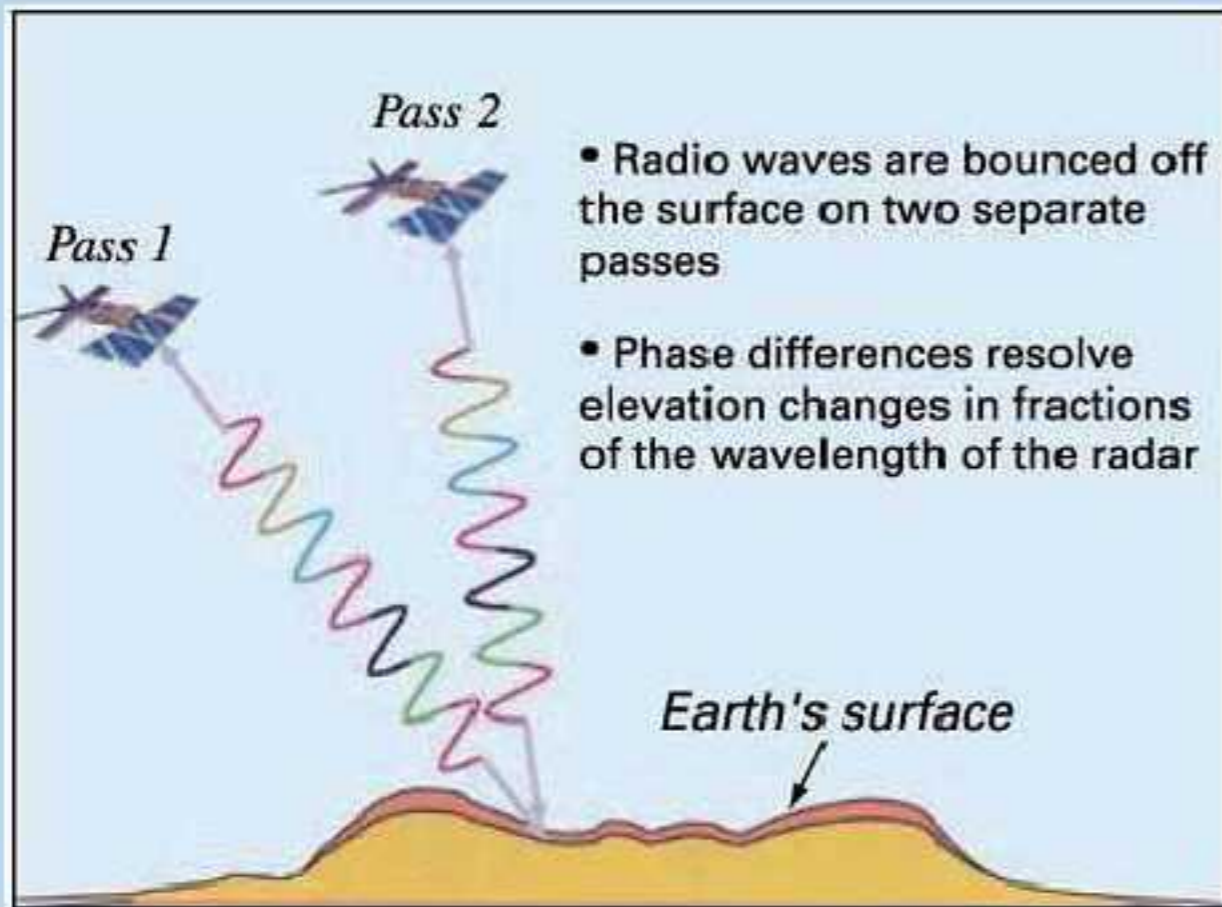


Рис. 1. Схематичне зображення супутника, який проходить над площею поверхні Землі (модифіковане графічне зображення [13, 14])



Рис. 2. Приклад аерофотознімки зсуву Ла Кончіта у штаті Каліфорнія, США, прийнятий у 2005 році. Синя лінія окреслює старіший зсув, жовта лінія – недавній зсув. (Фото люб'язно надано агенцією аерознімків США й округом Вентура, штат Каліфорнія, і Randy Jibson, геологічна служба США [14])

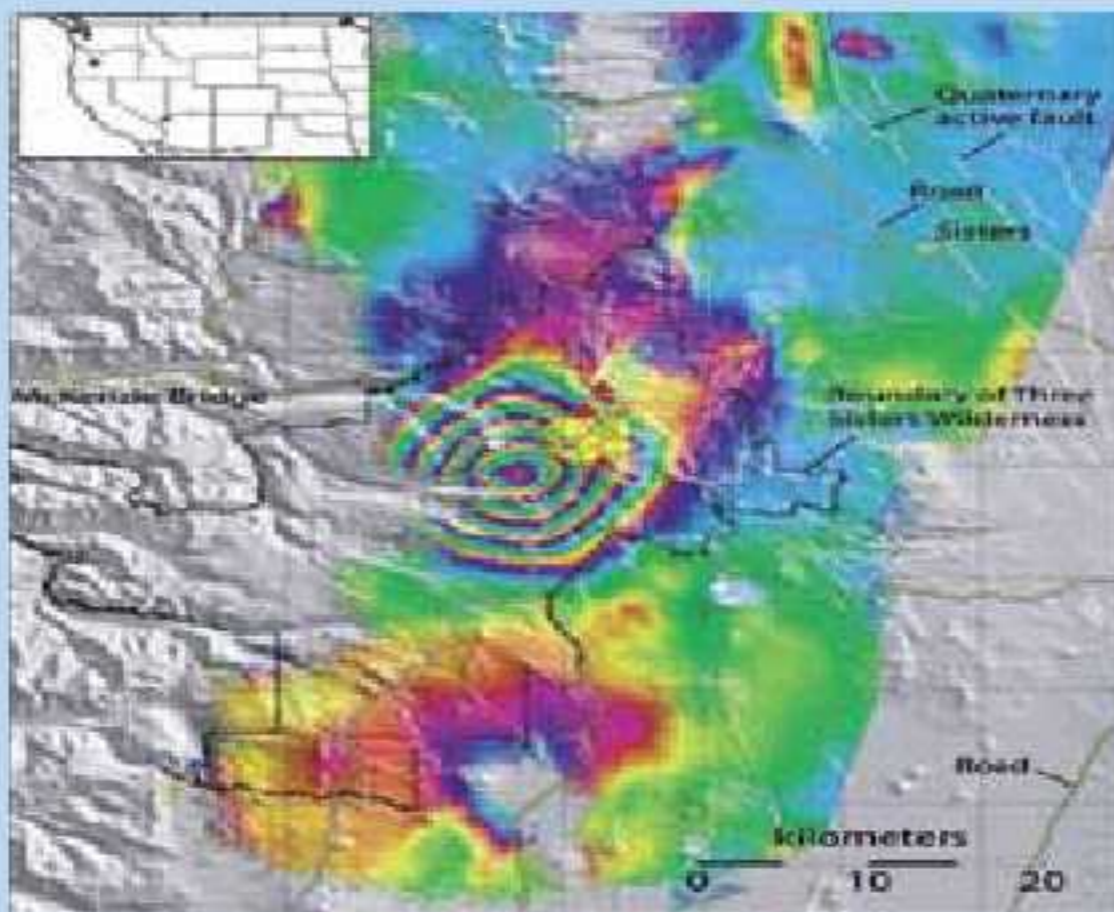


Рис. 3. Інтерферограма від InSAR (1997 – 2001) показує область підняття в Three Sisters вулканах (червоні трикутники), у Cascade горах, у центральному Орегоні, штат США (круги показують місця землетрусів). (Відредаговане фото з посилання [13, 14])



Рис. 4. Косе LiDAR-зображення Ла Кончіта (Каліфорнія, США) зсувів, виявлених у 2005 році. Показані контури зсувів 1995 року (синя лінія) і 2005 (жовта лінія), стрілки показують наявність інших зсувів на цій території; червона лінія окреслює головний уступ стародавнього зсуву, який охопив увесь обрив. (Фото повітрянодесантних військ 1, El Segundo (штат Каліфорнія, США) і Randy Jibson, геологічна служба США [14])

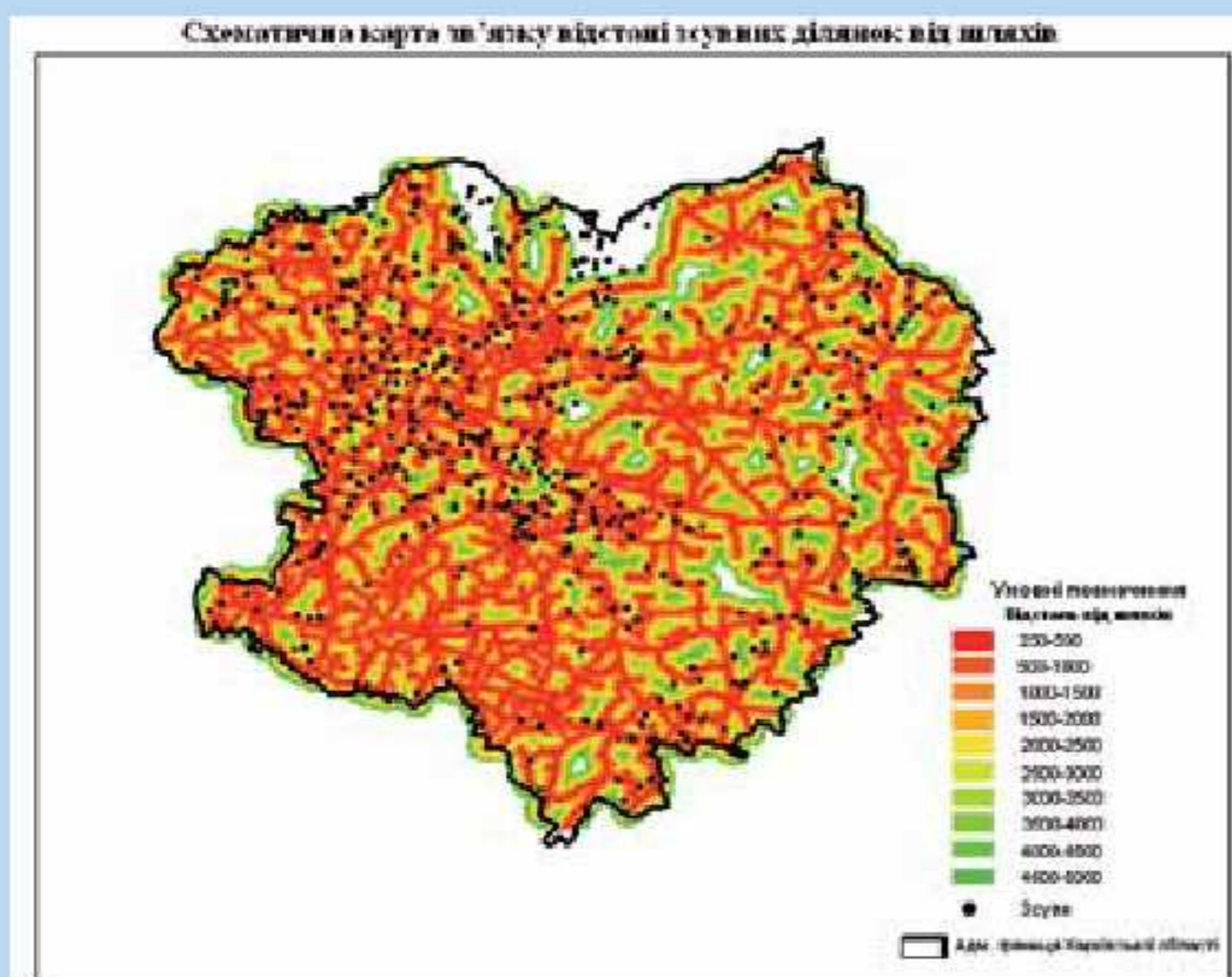


Рис. 6. Відстань від зсувних ділянок до дорожніх шляхів Харківської області