

Бігун Микола Віталійович

Національний університет «Львівська політехніка»,
e-mail: nikosbigun@gmail.com, ORCID:<https://orcid.org/0009-0009-1215-0544>

РОЛЬ ГЕОДЕЗІЇ В МОНІТОРИНГУ ГЕОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ТА ПРИРОДНИХ КАТАСТРОФ ДЛЯ ПОПЕРЕДЖЕННЯ НЕГАТИВНИХ НАСЛІДКІВ

Мета дослідження полягає в аналізі внеску геодезичних методів та технологій у виявлення, оцінювання та моніторинг геологічних процесів і природних катастроф з метою мінімізації їх небезпечних наслідків для суспільства та довкілля.

Методика дослідження. дистанційне зондування Землі, застосування супутникових знімків та аерофотознімання для збору даних про геологічні процеси та стан навколишнього середовища. Метод геодезичного моніторингу. стеження за змінами в положенні об'єктів із часом, що дозволяє виявляти мікрорухи ґрунтів, потенційні зсуви та інші деформації. ГІС-технології (геоінформаційні системи). Інтеграція та аналіз геоданих для моделювання геологічних процесів та природних катастроф, створення тематичних карт, які можуть відображати потенційні ризики та допомагати в плануванні заходів реагування.

Результати. Поставлено і вирішено завдання моніторингу геологічних змін та природних катастроф з використанням картографічних методів, призначених для роботи з багатьма користувачами, значно підвищує рівень безпеки та оперативності реагування на аварійні події. Важливим аспектом при здійсненні геодезичних спостережень є використання комплексного підходу, що включає польові дослідження, геодезичний аналіз та дані дистанційного зондування. Це забезпечує більш високу точність та ефективність моніторингу.

Наукова новизна. Дослідження зосереджується на визначенні ефективних підходів до збору, обробки та аналізу просторових даних, які можуть бути використані для своєчасного прогнозування і запобігання катастрофічних подій, а також для планування заходів щодо реагування на надзвичайні ситуації. Сформована адаптована модель оцінювання ризиків природних надзвичайних ситуацій, яка базується на аналізі різночасових станів рельєфу, дозволяє підвищити точність оцінок ризику.

Практична значимість. Використання дистанційних методів моніторингу забезпечує оперативне отримання інформації та можливість своєчасного вжиття заходів з охорони природи. Концептуальна модель дозволила ідентифікувати фактори техногенного впливу, оцінити стан ґрунтів та рослинності, а також виконати картографічний аналіз порушених земель з метою розробки заходів щодо їх відновлення. Створені тематичні карти динаміки порушених земель слугують основою для ухвалення управлінських рішень, направлених на планомірне відновлення та зниження негативного техногенного впливу, відкриваючи нові перспективи для застосування інтерактивних технологій в геодезії.

Ключові слова: геодезичні технології, геологічні процеси, моніторинг природних катастроф, земельні ресурси, цифрова модель рельєфу, лазерне сканування.

Bihun Mykola Vitaliiovych

Lviv Polytechnic National University, e-mail: nikosbigun@gmail.com
ORCID:<https://orcid.org/0009-0009-1215-0544>

THE ROLE OF GEODESY IN MONITORING GEOLOGICAL PROCESSES AND NATURAL DISASTERS TO PREVENT NEGATIVE CONSEQUENCES

The purpose of the study is to analyze the contribution of geodetic methods and technologies to the detection, assessment and monitoring of geological processes and natural disasters in order to minimize their dangerous consequences for society and the environment.

Research methodology. remote sensing of the Earth, the use of satellite images and aerial photography to collect data on geological processes and the state of the environment. Method of geodetic monitoring. tracking changes in the position of objects over time, which allows detecting soil micromovements, potential landslides and other deformations. GIS technologies (geoinformation systems). Integrating and analyzing geodata to model geological processes and natural disasters, creating thematic maps that can display potential risks and assist in response planning.

The results. The task of monitoring geological changes and natural disasters using cartographic methods designed to work with many users has been set and solved, significantly increasing the level of safety and prompt response to emergency events. An important aspect in the implementation of geodetic observations is the use of an integrated approach that includes field research, geodetic analysis and remote sensing data. This ensures higher accuracy and efficiency of monitoring.

Scientific novelty. The research focuses on identifying effective approaches to the collection, processing and analysis of spatial data that can be used for timely prediction and prevention of catastrophic events, as well as for emergency response planning. The developed adapted model of risk assessment of natural emergency situations, which is based on the analysis of terrain conditions at various times, allows to increase the accuracy of risk assessments.

Practical significance. The use of remote monitoring methods ensures prompt receipt of information and the possibility of taking measures for nature protection in a timely manner. The conceptual model made it possible to identify the factors of man-made influence, assess the condition of soils and vegetation, as well as perform a cartographic analysis of disturbed lands in order to develop measures for their restoration. The created thematic maps of the dynamics of disturbed lands serve as a basis for making management decisions aimed at systematic restoration and reduction of negative man-made impacts, opening up new perspectives for the use of interactive technologies in geodesy.

Keywords: geodetic technologies, geological processes, monitoring of natural disasters, land resources, digital terrain model, laser scanning.

Постановка проблеми. Прогрес сучасності спричинив за собою вплив людства на довкілля, який за обсягами можна порівняти із природними феноменами, що відбуваються у світі, що призводить до зрушень у динамічній рівновазі планети. Експлуатація природних ресурсів невіддільна від антропогенних змін у природі, які руйнують існуючі біогеоценологічні зв'язки, а також перетворюють рельєф та літологічну структуру земної кори, ведуть до втрати ґрунто-рослинного шару та зменшення біорізноманіття. Промисловість також здійснює опосередкований вплив на ще більші території. Все це негативно впливає на природне середовище та якість життя людей. Для уникнення чи зменшення шкідливих наслідків від діяльності людини потрібен контроль за геологічними процесами і природними катастрофами (Bhunia, Shit, Sengupta, 2021). Тому виникає потреба в детекції, відстеженні та прогнозуванні змін у пошкоджених землях та аналізі їх впливу на екосистеми, а також в розробці заходів для попередження або зменшення можливої шкоди від порушених територій на природні компоненти. Через це контроль геологічних процесів перетворюється на одне з найважливіших і нагальних завдань сьогодення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Сучасні геодезичні методики активно застосовуються для виявлення та слідкування за змінами в стані земель, забезпечуючи збір важливих даних про основні елементи довкілля та геологічні зміни, представлені в наукових роботах: (Woo K. S., Worboys G. 2019; Hablovskiy, et. al. 2023). Завдяки прогресу в геодезії, удосконаленню програмного забезпечення для обробки даних з космосу та розповсюдженню ГІС-технологій, фахівці отримують високоякісну нову інформацію про стан земель, об'єктів, їх змін та динаміку, ці питання реалізовані в ряді публікацій: Nikolayeva, O., Romashova, L. & Volkova, O. 2013; Fernández, et. al. 2017; Fey, Rechberger, Voit, 2023). Використання новітніх технологій дозволяє з великою точністю візуалізувати стан земної поверхні, виконувати глибинні аналітичні вирахування та здійснювати ефективне управління рішеннями.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. Здійснення спостереження за геологічними процесами дозволяє оперативно виявляти і оцінювати зміни в умовах земель, прогнозувати їх і розробляти рекомендації для нейтралізації шкідливих впливів, а також надавати необхідну інформацію установам державного та місцевого управління. Розробка єдиної інтегрованої системи моніторингу передбачає дотримання встановлених критеріїв, а ефективність цього процесу залежить від чіткої організації, котра базується на послідовному підході до створення методології моніторингу, його проведення та аналізу зібраної інформації. Аналіз земельних ресурсів, визначення їх поточного стану та прогнозування посилення шкідливих процесів, котрі впливають на ландшафти, вимагає якісних даних, отриманих завдяки ефективно налагодженому геодезичному контролю. Такий контроль має базуватися на упорядкованому зібранні інформації, яка охоплює якісні та кількісні параметри об'єктів, їх фізико-географічну оцінку та класифікацію пошкоджених територій.

Формулювання цілей статті (Постановка завдання). Мета дослідження полягає в аналізі внеску геодезичної науки та практики в процеси спостереження, виявлення, аналізу та прогнозування геологічних змін та природних катастроф з метою розробки ефективних стратегій запобігання та мінімізації їх потенційно негативних впливів на навколишнє середовище і суспільство.

Виклад основного матеріалу. Для вивчення порушень на територіях ефективним є застосування космічних зображень, отриманих у різний час. Ці знімки надають можливість ідентифікувати та ретельно аналізувати джерела забруднення земної поверхні, особливості порушень екологічного балансу та їх зміни з часом. Пошкоджені землі становлять екологічну загрозу як природні об'єкти, адже вони втрачають свої природо-господарчі функції та можуть спричинити процеси узагальненої деградації поверхні Землі та навколишнього клімату. Ескалація стану пошкодженості може призвести до руйнування самого ґрунту як природного елемента, створювати значні перешкоди для розвитку та діяльності інших компонентів геодезичних мереж та

довкілля загалом. Для визначення масштабів деградації ґрунтів та розроблення відповідних критеріїв при класифікації пошкоджених територій критично необхідним є комплекс діагностичних показників (Manyuk & Maniuk, 2023).

Основні наслідки деградації ґрунтів у природньо-екологічному контексті проявляються в наступному: а) знижується інтенсивність процесів ґрунтоутворення, що призводить до слабшання акумуляції органічної речовини в ґрунті, погіршення його структури та складу поглинаючого комплексу, порушується кислотний баланс; б) відбувається порушення нормального волого-, газо- та теплообміну між приземним шаром атмосфери, надземною біосферою, ґрунтом та підґрунтям, що має негативний вплив; в) скорочується виробництво рослинної маси та зменшується викид кисню в атмосферу, послаблюється зв'язування атмосферного вуглецю, що посилює викид вуглецю з ґрунтів у атмосферу та всі пов'язані з цим негативні ефекти; г) погіршується середовище існування для багатьох ґрунтових організмів (мікроорганізмів, мезофауни), що в кінцевому рахунку впливає на всю біоту, включно з людиною.

Одночасно особливості проведення робіт у певному регіоні, існуюча інфраструктура району та минула техногенна діяльність надають індивідуальні характеристики певним формам впливу (Chabaniuk, Polyvach, 2020). Відображення стану ґрунтового шару в екосистемах та перспективи використання земель з урахуванням їх природо-господарської цінності представлено в таблиці 1.

Таблиця 1

Оцінка техногенного впливу на земельні ресурси та визначення рівня втрат (Chabaniuk, Polyvach, 2020; Fernández, et. al. 2017).

Рівень втрат природно-господарської цінності земель	Стан ґрунтового покриву та можливості господарського використання земель
Нульовий	Відсутність ознак несприятливих геодезичних наслідків та обмежень ефективного господарського використання
Слабкий	Первинні ознаки пригнічення окремих ланок біоценозу, зниження продуктивності агроценозів. Використання земель з метою продовольчого виробництва без обмежень.
Середній	Природні біоценози сильно пригнічені чи відсутні. Використання земель для виробництва продовольчої продукції малоефективне через знижену родючість ґрунтів та часто неповноцінну якість продукції.
Високий	Обмеженість існування штучних насаджень. Недоцільність використання земель для виробництва продовольчої продукції через низьку родючість ґрунтів та незадовільну якість продукції.
Катастрофічний	Біопродуктивність земель вкрай низька. Обмеженість використання території для існування людини та розміщення виробництва життєзабезпечення.

Інформація про техногенні умови є ключовою складовою інфраструктури просторових даних, особливо в промислових регіонах України, де концентрація технологій та інвестицій стимулює економічне зростання країни, але також спричиняє значний і різноплановий шкідливий вплив на довкілля (Nikolayeva, O., Romashova, L. & Volkova, O. 2013). Геодезичний сегмент інфраструктури просторових даних створений для допомоги спеціалістам у вирішенні різних, часто комплексних завдань у сфері ефективного використання та відновлення природних ресурсів, захисту довкілля та здоров'я громадян. Тому для прийняття обґрунтованих рішень потрібен аналітичний інструмент для опрацювання геодезичної інформації, що відповідає поставленим цілям (Makedon, Vailova, 2023). Цифрові геодезичні карти різної тематики слугують ефективним інструментом для наочного представлення просторових даних. При розробці таких карт важливим методологічним принципом є організація і категоризація геодезичних даних залежно від типу природного компонента, який зазнає забруднення, та виду цього забруднення (Rudenko, 2019). Загальний дизайн серії карт представлений на рис. 1.

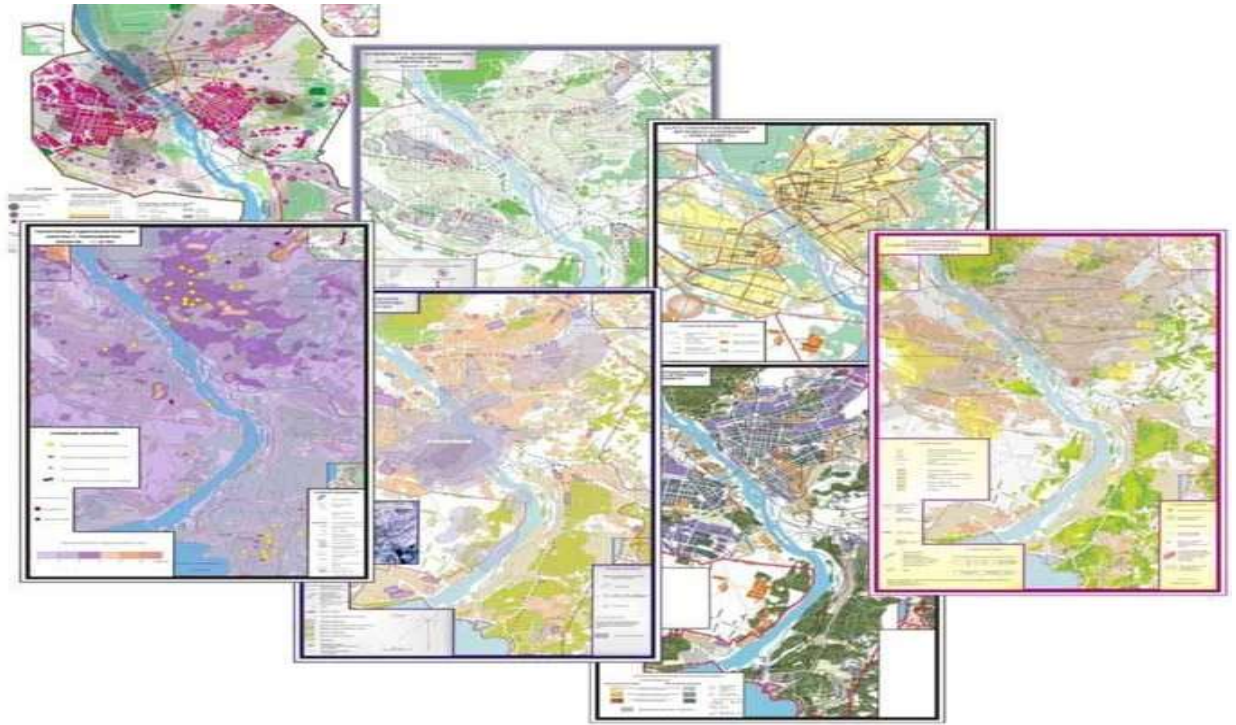


Рис. 1. Серія цифрових геодезичних карт території міської забудови та моніторингу техногенного навантаження (GIS Maps: Types and Applications of Digital Cartography, 2023)

Визначимо характеристики картографування, призначеного для використання широким колом користувачів. Аналізуючи принципи доступу багатьох користувачів до просторових даних, можна виділити декілька підходів до збору, зберігання, обробки та візуалізації інформації, яка стосується надзвичайних ситуацій (Hablovskyi, et. al. 2023). Згідно з першим підходом, кожен учасник (джерело) самостійно вносить дані в єдиний репозиторій даних та знань (рис. 2).

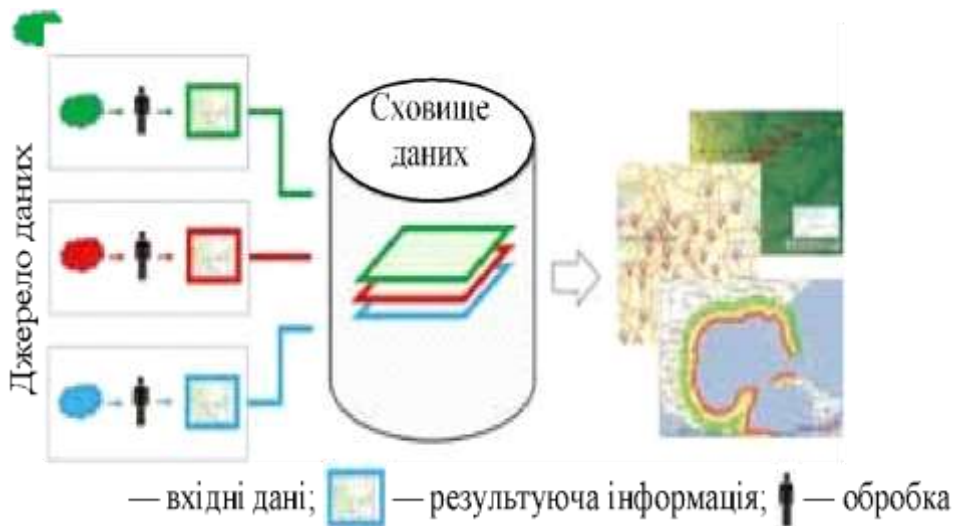


Рис. 2. Спосіб самостійного розміщення даних у сховищі (розроблено автором)

Таким чином, формується ресурс з матеріалами від різних джерел, з якого кожен учасник може запозичувати інформацію для власних потреб і на підставі запитів до централізованої бази складати відповідні тематичні карти, використовуючи всі наявні дані. Другий підхід полягає в тому, що кожен учасник (джерело) вносить неперероблену інформацію в спільний репозиторій даних та знань (рис. 3).

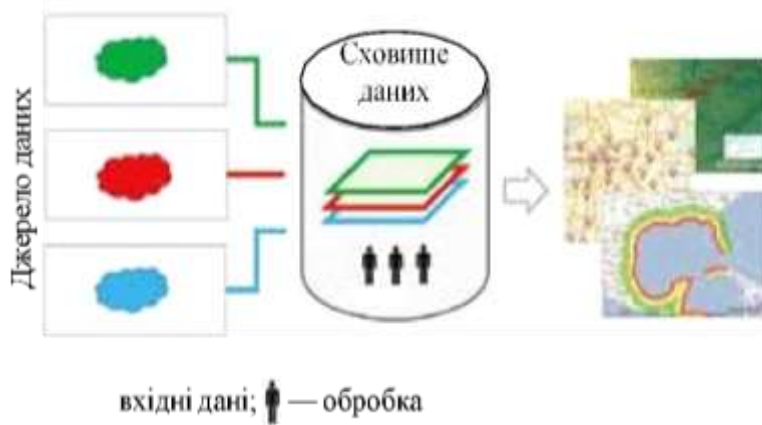


Рис. 3. Спосіб розміщення необроблених даних у сховищі (розроблено автором)

Щодо отримання космічних знімків, то вони доступні через Службу геологічної зйомки США (USGS), до якої можна отримати доступ за допомогою порталу EarthExplorer. Платформа, розташована за адресою <https://earthexplorer.usgs.gov>, дозволяє користувачам вибирати знімки за датами, рівнем хмарності та використовуючи різні сенсори (EarthExplorer, 2023).

Методики обробки космічних знімків з метою здійснення геодезичного моніторингу геологічних змін та природних аварійних ситуацій класифікують на етапи первинної та спеціалізованої обробки. Первинна обробка знімків передбачає низку дій із зображеннями для виправлення різноманітних викривлень (GIS Maps: Types and Applications of Digital Cartography, 2023). Для обраних космічних знімків, в першу чергу, проводилася атмосферна корекція. Цей процес виконувався методом DOS у QGIS за допомогою модуля «SemiAutomatic Classification Plugin», як показано на рис. 4.

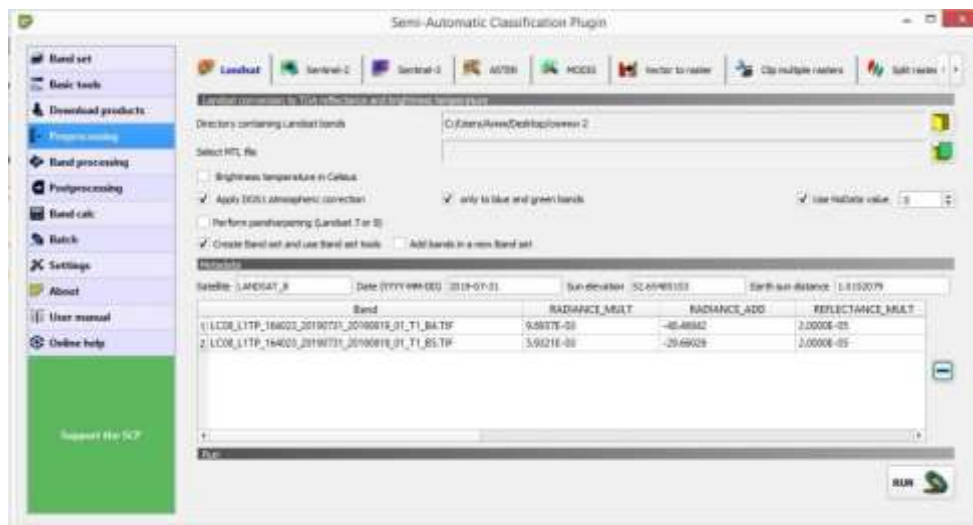


Рис. 4. Візуалізація модулю «Semi-Automatic Classification Plugin» (сформовано автором)

Другим кроком є проведення радіометричної корекції. Ця процедура здійснює виправлення апаратних радіометричних викривлень зображення на стадії первинної обробки знімків. Радіометрична корекція здійснювалася з використанням функції «Raster Calculator» в програмному забезпеченні ArcGIS, що демонструється на рис. 5.

Надалі обираємо комбінацію спектральних каналів з огляду на те, що різні об'єкти краще видно при різних їх поєднаннях, залежно від цілей дослідження. Оскільки наш фокус – рослинність і ґрунти, ми використовуємо комбінації для зображень 4-5-3 та 5-6-4 відповідно для Landsat 5 і Landsat 8 (Landsat-8/LDCM, (2023)). Це поєднання ближнього та середнього інфрачервоного каналів з червоним каналом візуалізує рослинність у різних відтінках коричневого, зеленого і помаранчевого, що дозволяє аналізувати вологість і є корисним для вивчення ґрунтів та рослинного покриву.

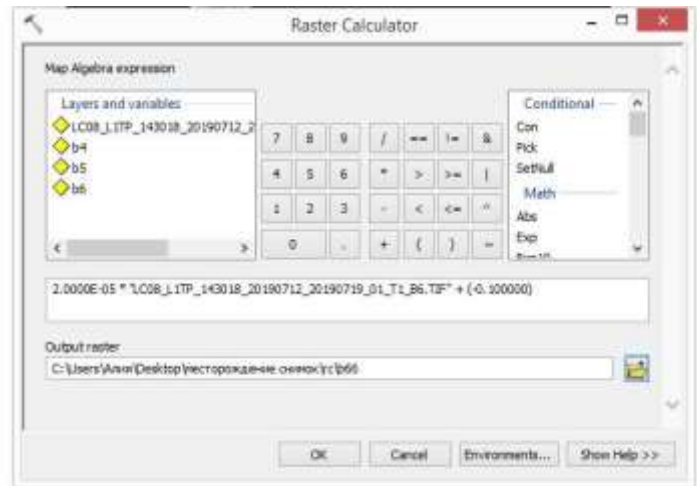


Рис. 5. Інструмент «Raster Calculator» (сформовано автором)

Вищий рівень вологості ґрунту, зазвичай, відображається темнішим кольором через абсорбцію водою інфрачервоного випромінювання (Makedon, et. al. 2021). Для створення комбінації каналів користуємося інструментарієм ArcGIS: ArcToolbox - Data Management Tools - Raster-Raster Processing - Composite Bands. Потім визначаємо потрібні канали та зберігаємо результат (рис. 6).

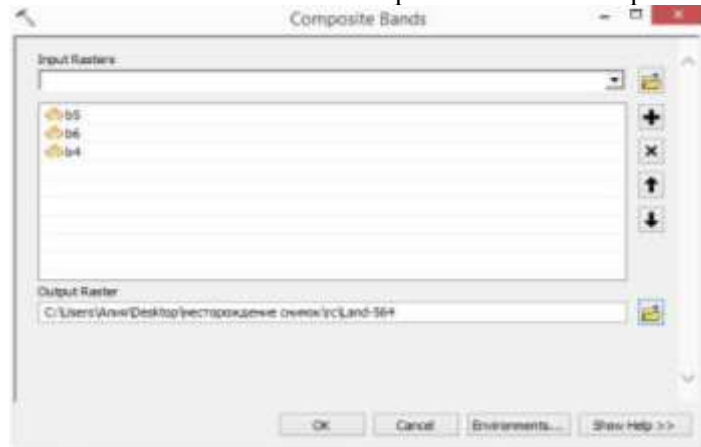


Рис. 6. Інструмент «Composite Bands» (сформовано автором)

Далі відзначаємо досліджувану територію. Для цього створюємо новий шейп-файл та полігоном виділяємо територію (рис. 7).

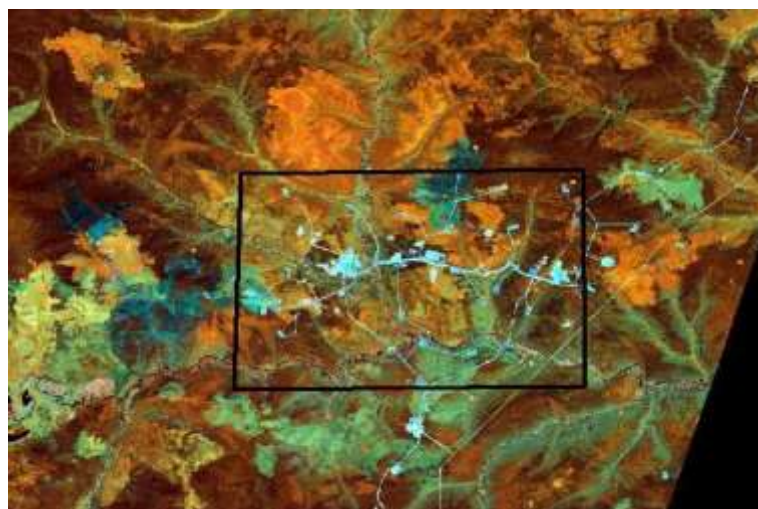


Рис. 7. Досліджувана територія геодезичного моніторингу (Geologic Map Day, 2023)

Так як мене цікавить тільки територія, що досліджується, вирізаємо його за допомогою інструменту «Extract by Mask». Заходимо: Arctoolbox – Spatial Analyst Tools – Extraction – Extract by Mask» (рис. 8).

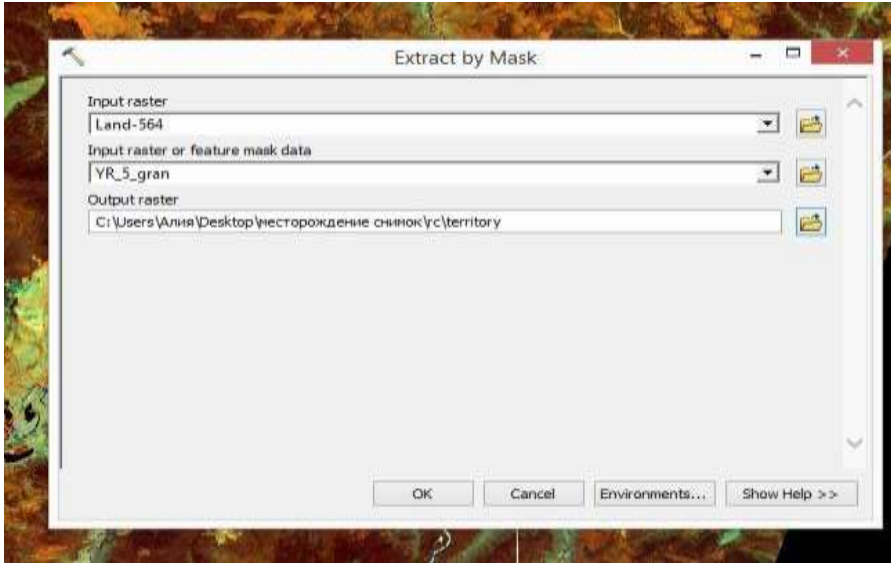


Рис. 8. Застосування інструменту *Extract by Mask* з метою геодезичного моніторингу геологічних процесів (сформовано автором)

На наступному етапі за допомогою супутникових знімків відбувається ідентифікація та виокремлення порушених земельних ділянок – процес дешифрування супутникових зображень. Під час дешифрування критично важливим є застосування різноманітних комбінацій спектральних каналів. Вибір каналів залежить від характеристик цільового об'єкта, адже різні комбінації спектрів можуть надавати різне зображення того самого об'єкта (SPH Engineering's Core Technologies, 2023).

Опосередкований запуск моніторингу потенційно небезпечних геологічних процесів починається з виявлення та дешифрування екзогенних геологічних явищ, а також оцінюванням їх загрози для майбутнього будівництва, тобто класифікацією їх як небезпечних геологічних процесів (Wang, Makedon, et. al. 2021). З урахуванням того, що сьогодні широко використовується лазерне сканування для геодезичних досліджень лінійних та площинних об'єктів, з'являється можливість використовувати створені цифрові моделі рельєфу не тільки для креслення планів і карт, але й для геологічного аналізу досліджуваної території (рис. 9).

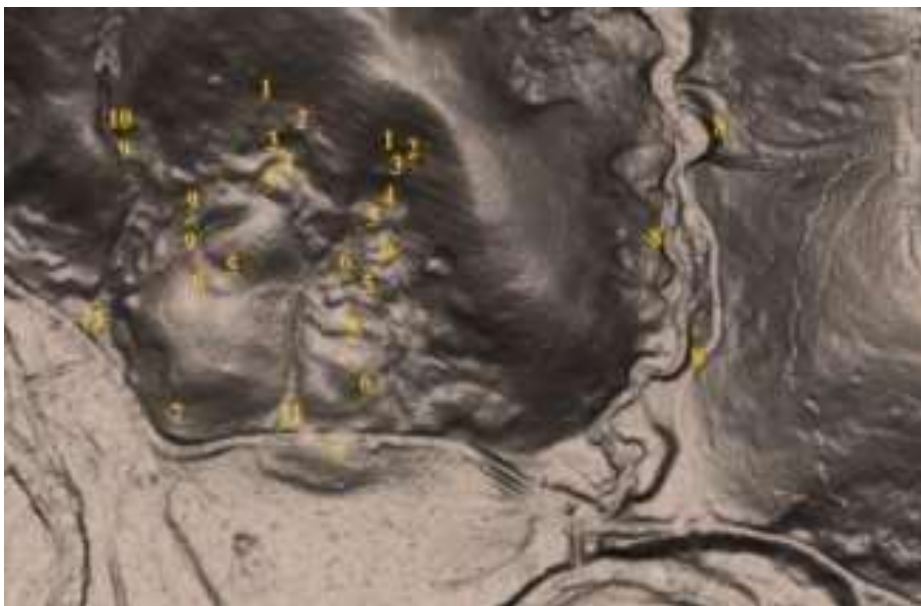


Рис. 9. Інтерпретація умов на цифровій моделі рельєфу (Geologic Map Day, 2023)

1 – цирк зсуву; 2 – брівка головного уступу; 3 – головний уступ; 4 – вершина зсуву; 5 – внутрішній уступ; 6 – нерівності поверхні рельєфу (вали, пагорби тощо); 7 – підшва зсуву; 8 – переробка берега гірською річкою (бічна ерозія постійного водотоку); 9 – лінійна ерозія (донна ерозія тимчасового водотоку); 10 - лінійна ерозія (бічна ерозія тимчасового водотоку); 11 - конус виносу (пролювій) (сформовано автором)

У процесі сканування рельєфу для конкретного масштабу можливе ідентифікації «геоморфологічних форм», що відповідають тому чи іншому небезпечному геологічному явищу. Сканування у масштабі 1:500 дає змогу розпізнати такі явища, як зсуви; обвали й зсипи; змиви ґрунту; карстові утворення; карст-суфозійні процеси; снігові лавини; ерозію берегів морів, озер та водосховищ; суфозію; морозне набухання; термокарст.

Повертаючись до основної мети моніторингу геологічних змін та природних катастроф, яка полягає в прогнозуванні розвитку системи та розробці на цій основі рекомендацій та стратегій управління аналізованою системою, слід підкреслити, що досягнення цієї мети неможливе без впровадження ефективної системи спостереження (Van Dijk, 2023). Методи та засоби спостереження в системі моніторингу мають відповідати високим вимогам, базуватися на добре продуманій технічній та методологічній основі з науковим підґрунтям, а також відповідати принципам логічної та ефективної просторово-часової структури процесу моніторингу (Digital Outcrop Modelling and Geological Mapping: Shaping the Future of Geology, 2023). На основі цих засад формується концептуальна модель реалізації всього комплексу робіт, ідентифікації небезпечних геологічних процесів, здійснення польових перевірок (з фотодокументуванням) та проведення моніторингу (рис. 10).

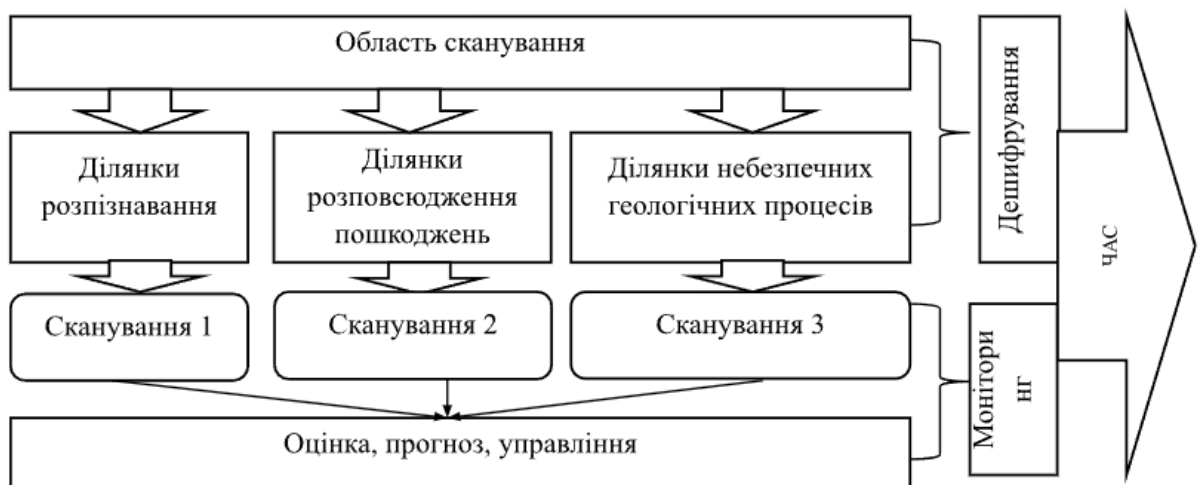


Рис. 10. Концептуальна схема проведення моніторингу (розпізнавання небезпечних геологічних процесів) (сформовано автором)



Рис. 11. Фрагменти різночасових статичних моделей рельєфу (два сусідні роки) (горизонталі синього кольору показують негативну динаміку, червоні позитивну – переріз горизонталей 0.1 м.) (NASA. Landsat Science, 2023)

У практиці кінцевий продукт виглядає наступним чином: геодезичну модель території та рельєфу, яку перевірено на відповідність з геологічними даними, порівнюємо з іншими статичними моделями місцевості, щоб отримати дані про зміни рельєфу в часі. Геодезичні відомості стають основним елементом для розуміння об'єкту дослідження, для ідентифікації причин змін у ґрунтах певного генетичного типу з їх специфічними фізико-механічними характеристиками. Застосування програмно-технічних засобів для математичного моделювання різночасових цифрових моделей рельєфу дозволяє виконати побудову ізоліній змін рельєфу, враховуючи похибки вимірювань, які залежать від висоти сканування (рис. 11).

Розвиток лазерного сканування не лише забезпечив отримання масивів точок з високою щільністю, а й дозволив з більшою точністю встановлювати просторове розташування точок з меншою помилкою вимірювань. Користуючись даними з пунктів спостереження, картографічними та семантичними базами даних і спеціалізованими математичними моделями, геодезист має змогу прогнозувати стан потенційно небезпечного феномена на обраній території та візуалізувати прогнозні дані на електронній мапі. На рис. 12 представлено зразок картографічного відображення результатів прогнозу повеневих ситуацій. Прогнозування природних катастроф виконується за допомогою таких функціональних завдань:

- моделювання вибухів та пожеж;
- моделювання катастрофічних затоплень;
- моделювання потенційної паводкової ситуації;
- моделювання розвитку лісових пожеж;
- моделювання природних катастроф за принципом «Доміно».



Рис. 12. Приклад картографічного відображення результатів прогнозування паводкової обстановки (U.S. Geological Survey (USGS). All Maps, 2023)

Застосування аерофотознімання дозволяє точніше ідентифікувати об'єкти в зонах затоплення. Доповнення спеціального програмного забезпечення ArcGIS під назвою «Весняна повінь» використовується для аналізу та прогнозування водних рівнів на гідрологічних станціях під час весняного розливу річок та оцінки впливу надзвичайних ситуацій. Для цього використовується база геоданих ArcHydro (модель ESRI), яка підсилюється спеціалізованими шарами. В результаті дешифрування формуються векторні шари для порушених земель. Під час створення векторних об'єктів заносяться атрибутивні дані, такі як тип порушення земель та їх площа. Для створення геодезичної карти на основі даних дистанційного зондування застосовано алгоритм неконтрольованої класифікації ISODATA. Для цього користуються інструментами ArcGIS: ArcToolbox – Spatial Analyst Tools – Multivariate – Iso Cluster Unsupervised Classification.

Після завершення моніторингу існує можливість передати зібрані дані з використанням аерофотознімання лазерним скануванням для інтеграції в глобальну систему моніторингу державного рівня, оскільки універсальна структура моніторингу з повітря включає в себе підсистеми регіонального, локального та детального моніторингу. У майбутньому серія геодезичних карт, створених для моніторингу геологічних змін та природних катастроф з метою запобігання їх негативному впливу, може бути використана як основа для створення інформаційної картографічної системи, яка б відображала техногенний статус територій.

Висновки. Отже, вирішення завдань моніторингу геологічних змін та природних катастроф в контексті картографування, орієнтованого на роботу з багатьма користувачами, дозволить збільшити рівень безпеки та своєчасності реагування на такі події, встановити більш дієвий і швидкий обмін даними між інформаційними постачальниками, які можуть бути географічно роз'єднані, а також налагодити систему розподілу доступу до перегляду та редагування для різних користувацьких груп. Проведені дослідження відкривають великі перспективи використання сучасних технологій інтерактивного зв'язку для репрезентації геологічних процесів у багатокористувацькому режимі, що закладає фундамент для розвитку нових методів у створенні та застосуванні геодезичних технологій.

Адаптовано модель для оцінки ризиків природних надзвичайних ситуацій на основі порівняння різночасних статичних станів рельєфу, що дозволяє збільшити точність оцінок ризику порівняно з базовими методами, завдяки використанню узагальнених експертних оцінок ступеня впливу спостережуваних параметрів та прогнозованих відхилень можливих параметрів від їх критичних значень. Впровадження дистанційних методів у моніторинг порушених земель дозволяє швидко збирати дані про потенційний негативний вплив на довкілля та своєчасно реагувати природозахисними діями. Доступ до архіву супутникових знімків розширює можливості для ретроспективного аналізу стану екосистем, дозволяючи вивчати просторово-часову та геодезичну динаміку змін природного середовища.

Концептуальна модель виявлення небезпечних геологічних процесів дозволила визначити фактори та рівень техногенного впливу на компоненти довкілля; оцінити стан ґрунтів та рослинності; провести картографічний аналіз порушених земель на основі даних геодезичного моніторингу; розробити заходи для рекультивації земель; створити тематичні карти змін порушених територій, які слугуватимуть основою для прийняття управлінських рішень, спрямованих на планомірну рекультивацію земель та зменшення впливу техногенних факторів.

Список використаних джерел

- Bhunja, G. S., Shit, P. K., Sengupta, D. 2021. Free-open access geospatial data and tools for forest resources management. In: Spatial modeling in forest resources management: rural livelihood and sustainable development (pp. 651–675). Springer, Cham. (in English).
- Chabaniuk, V., Polyach, K. 2020. Critical properties of modern geographic information systems for territory management. Cybernetics and Computer Engineering, No. 3(201), 5–32. DOI:10.15407/kvt201.03.005. (in English).
- Digital Outcrop Modelling and Geological Mapping: Shaping the Future of Geology. (2023). Retrieved from: <https://www.vrgeoscience.com/shaping-the-future-of-geology/> (in English).
- EarthExplorer. (2023). Retrieved from: <https://earthexplorer.usgs.gov/>
- Fey, C., Rechberger, C., Voit, K. 2023. Remote sensing-based deformation monitoring and geological characterisation of an active deep-seated rock slide (Tellakopf/Cima di Tella, South Tyrol, Italy). Bull Eng Geol Environ 82, 85. <https://doi.org/10.1007/s10064-023-03101-x> (in English).
- Geologic Map Day. 2023. Retrieved from: <https://www.earthsciweek.org/geologic-map-day> (in English).
- HIS-karty: vydy ta zastosovannya tsyfrovoyi kartohrafiyi [GIS Maps: Types and Applications of Digital Cartography]. 2023. Retrieved from: <https://eos.com/uk/blog/gis-karty/> (in Ukrainian).
- Hablovskiy, B., Hablovska, N., Shtohryn, L., Kasiyanchuk, D., Kononenko, M. 2023. The Long-Term Prediction of Landslide Processes within the Precarpathian Depression of the Cernivtsi Region of Ukraine. Journal of Ecological Engineering, 24(7), 254-262. <https://doi.org/10.12911/22998993/164753> (in English).
- Landsat-8/LDCM. 2023. Retrieved from: <https://www.eoportal.org/satellite-missions/landsat-8-ldcm> (in English).
- Makedon, V. V., Bailova, O. O. 2023. Planuvannya ta orhanizatsiya vprovadzheniya tsyfrovyykh tekhnolohiy u diyal'nist' promyslovykh pidpryyemstv [Planning and organizing the implementation of digital technologies in the activities of industrial enterprises]. Scientific Bulletin of Kherson State University. Series "Economic Sciences", Issue 47, 16-26. DOI: 10.32999/ksu2307-8030/2023-47-3 (in Ukrainian).
- Makedon, V., Dzeveluk, A., Khaustova, Y., Bieliakova, O., Nazarenko, I. 2021. Enterprise multi-level energy efficiency management system development. International Journal of Energy, Environment, and Economics, Volume 29, Issue 1, 73-91. (in English).
- Manyuk, V., & Maniuk, V. 2023. Geodiversity, geological heritage and renewal of the network of geosites of the Dnipropetrovsk region. Journal of Geography, Geography and Geoecology, 32(2), 326-341. <https://doi.org/https://doi.org/10.15421/112330>. (in English).
- NASA. Landsat Science. 2023. Retrieved from: <https://landsat.gsfc.nasa.gov/article/landsat-next-defined/> (in English).
- Nikolayeva, O., Romashova, L. & Volkova, O. 2013. Cartographic support for ecological monitoring. InterCarto. InterGIS, 1, 84-86. 10.24057/2414-9179-2013-1-19-84-86. (in English).
- Rudenko, L. G. 2019. Aktual'ni napryamky rozvytku kartohrafiyi v Ukrayini [Current trends in the development of cartography in Ukraine] Edited by Kyiv: Institute of Geography of the National Academy of Sciences of Ukraine. (in Ukrainian).
- Tomás Fernández, José Luis Pérez, Carlos Colomo, Javier Cardenal, Jorge Delgado, José Antonio Palenzuela, Clemente Irigaray and José Chacón. 2017. Assessment of the Evolution of a Landslide Using Digital Photogrammetry and LiDAR Techniques in the Alpujarras Region (Granada, Southeastern Spain). Geosciences, 7(2), 32. Retrieved from: <https://www.mdpi.com/2076-3263/7/2/32>. (in English).
- SPH Engineering's Core Technologies. 2023. Retrieved from: <https://www.sphengineering.com/> (in English).

- U.S. Geological Survey (USGS). All Maps. 2023. Retrieved from: <https://www.usgs.gov/products/maps/all-maps> (in English).
- Van Dijk, Janpieter. 2023. The New Global Tectonic Map=Analyses and Implications. Terra Nova. 10.1111/ter.12662. (in English).
- Wang, Y., Zhang, K., Gong, F., Mu, J., Liu, S. 2021. Interferometric phase reconstruction based on probability generative model: Toward efficient analysis of high-dimensional SAR stacks. Remote Sensing, 13(12), 2369. <https://doi.org/10.3390/rs13122369>. (in English).
- Woo K. S., Worboys G. 2019. Geological monitoring in protected areas, International Journal of Geoheritage and Parks, Volume 7, Issue 4, 218-225. <https://doi.org/10.1016/j.ijgeop.2019.12.004>. (in English).

*Надійшла до редколегії 09.12.2023
Прийнята до друку 20.12.2023*

