

ТЕХНОГЕННА СКЛАДОВА ЕКОЛОГО-ГЕОЛОГІЧНИХ РИЗИКІВ ЗСУВНОЇ НЕБЕЗПЕКИ НА ПРИКЛАДІ КАДАСТРОВИХ ДІЛЯНОК КОСІВСЬКОГО РАЙОНУ

Касіянчук Дмитро Васильович,

кандидат геологічних наук, доцент,
доцент кафедри геодезії та землеустрою,
Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу
ORCID ID: 0000-0003-4761-5320
Scopus Author ID: 56085007900
Web of Science Researcher ID: V-9598-2018

Штогрин Людмила Василівна,

кандидат геологічних наук, доцент,
доцент кафедри геодезії та землеустрою,
Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу
ORCID ID: 0000-0001-8381-1236
Scopus Author ID: 56369614200
Web of Science Researcher ID: IAM-3743-2023

Метою дослідження, представленого в даній роботі, є аналіз зсувонебезпечних процесів шляхом оцінки впливу техногенних факторів на землекористування в межах Косівського району Івано-Франківської області. Зростання негативних наслідків зсувних процесів в межах досліджуваної території, особливо в Українських Карпатах, зумовлює необхідність створення нових підходів до оцінки земельних ресурсів та цивільного будівництва з метою зменшення негативного впливу зсувів на навколишнє середовище та життєдіяльність людини. Зсувні процеси вивчалися з використанням геофізичних, GPS та геостатистичних методів аналізу даних. На основі картографічних шарів земельного кадастру та карти ризиків зсувної небезпеки Косівського району було проведено векторний аналіз для оцінки ризику кожної ділянки відповідно до її кадастрового номера. За допомогою QGIS було розраховано еколого-геологічні ризики техногенних компонентів зсувонебезпечних територій з використанням інструментів геоінформаційного та геостатистичного аналізу. Важливим результатом дослідження стала побудова карт зсувних ризиків для земельних ділянок на основі даних Держгеокадастру з використанням плагіну панелі інструментів Kadastr.Live. Вперше проведено аналіз техногенних складових зсувного ризику на території Косівського району як основи для оцінки зсувного ризику окремих земельних ділянок. Аналіз ризику здійснено на прикладі окремих ділянок як основу для уточнення нормативно-фінансових оцінок, зміни цільового призначення земельних ділянок та здійснення господарської діяльності, що потребує гідрогеологічних досліджень. Методика поділу факторів оцінки зсувної небезпеки на природні та антропогенні дозволяє при вивченні характеристик природних факторів виділити в межах досліджуваної території ділянки з найбільшою ймовірністю виникнення та активізації зсувів.

Ключові слова: зсуви, земельний кадастр, земельні ділянки, ризик

Kasiyanchuk Dmytro, Shtohryn Lyudmila. The technogenic component of ecological and geological risks of landslide hazard on the example of cadastral plots of Kosiv district

The purpose of the study presented in this paper is to analyse landslide hazard processes by assessing the impact of anthropogenic factors on land use within the Kosiv district of Ivano-Frankivsk region. The growing negative consequences of landslide processes within the study area, especially in the Ukrainian Carpathians, necessitates the creation of new approaches to land resources assessment and civil engineering in order to reduce the negative impact of landslides on the environment and human activity. Landslide processes were studied using geophysical, GPS and geostatistical data analysis methods. Based on the map layers of the land cadastre and the landslide risk map of Kosiv district, a vector analysis was conducted to assess the risk of each site according to its cadastral number. QGIS was used to calculate the environmental and geological risks of man-made components of landslide-prone areas using geoinformation and geostatistical analysis tools. An important result of the study was the construction of landslide risk maps for land plots based on the State Geocadastr data using the Kadastr.Live dashboard plug-in. For the first time, an analysis of the anthropogenic components of landslide risk in the Kosiv district was carried out as a basis for assessing the landslide risk of individual land plots. The risk analysis was carried out on the example of individual plots as a basis for clarifying regulatory and financial assessments, changing the designated purpose of land plots and carrying out economic activities that require hydrogeological research. The methodology of dividing landslide hazard assessment factors into natural and anthropogenic ones allows to identify the areas with the highest probability of landslide occurrence and activation within the studied territory when studying the characteristics of natural factors.

Key words: landslides, land cadastre, land plots, risk.

Вступ. Аналіз екзогенних геологічних процесів (ЕГП) потребує глибокого розуміння механізмів їх активізації та розвитку, зокрема таких небезпечних явищ, як зсуви, карстові процеси та селі. Ключовим аспектом

цього є вивчення факторів, що сприяють виникненню та розвитку геологічних загроз. Сучасні геоінформаційні системи (ГІС) забезпечують можливість проведення детальних геостатистичних та просторових досліджень.

Інтеграція різних наборів даних значно покращує ефективність аналізу та моделювання цих процесів.

Прогнозування, дослідження та мінімізація наслідків зсувних явищ є важливою темою на Всесвітньому форумі з питань зсувів [1], особливо у контексті зростання опадів, спричиненого зміною клімату, що впливає на активізацію зсувів. Вплив річкової ерозії та тектонічних процесів на розвиток природних катастроф у Карпатському регіоні України, включаючи зсуви, розглядається у працях [2, 3]. Дослідження [4] зосереджене на аналізі природних факторів у районах із високим рівнем ґрунтових вод, приділяючи особливу увагу проблемі неповноти даних. У свою чергу, у роботі [5] досліджуються причини формування неглибоких зсувів у Швейцарії з урахуванням регіональних геоморфологічних особливостей, геологічної будови та кліматичних відмінностей.

Оперативне та обґрунтоване прогнозування зсувних процесів відіграє ключову роль у плануванні та розвитку критично важливої інфраструктури, спрямованої на захист населення у сейсмічно активних регіонах. У цьому дослідженні представлено гібридну модель прогнозування зсувів COLAFOS, яка базується на врахуванні трьох основних факторів: середнього ухилу, експозиції та геологічної морфології. Проблема місцевого землекористування, зокрема його використання, була розглянута у дослідженні [6]. Там із застосуванням різноманітних інструментів ГІС проаналізовано взаємозв'язок між аналітичними та експертними даними з різних джерел для створення карти локального екологічного життєвого циклу.

Геоінформаційні системи мають широкий спектр застосувань для просторового аналізу ймовірності виникнення та активізації екзогенних геологічних процесів – від адміністративного управління до заходів з попередження та ліквідації наслідків природних катастроф. В Івано-Франківській області зсуви охоплюють близько 2% території, що становить приблизно 250 кв. км. Загальна кількість зсувонебезпечних ділянок перевищує 640, і 80% із них мають безпосередній зв'язок із господарською діяльністю.

Дане дослідження спрямоване на оцінку зсувної небезпеки через аналіз впливу техногенних факторів на землекористування в межах Косівського району Івано-Франківської області. Збільшення негативних наслідків зсувних процесів у досліджуваній місцевості, особливо в Українських Карпатах, вимагає розробки нових методів оцінки земельних ресурсів і планування цивільного будівництва. Це необхідно для мінімізації впливу зсувів на довкілля та безпеку населення.

Вихідні дані. Опрацьовано просторову базу даних зсувних явищ (ДНВП “Геоінформ України”) для Івано-Франківської області, а також використано матеріали геологічного дослідження за темою № 29/10-34 [7]. Для оцінки рівня зсувного ризику земельних ділянок застосовано інформацію з Державного земельного кадастру, використовуючи плагін Kadastr.Live Toolbar, а також карту еколого-геологічної оцінки ризиків зсувної небезпеки області [8].

Умови формування зсувних процесів у межах досліджуваної території. Косівський район розташований на низькогір'ї Покутських Карпат та ерозійних межиріччях Передкарпаття у внутрішній та зовнішній зонах Передкарпатського прогину. Сучасний рельєф Косівського району сформувався у результаті тектонічних рухів і безперервної дії екзогенних факторів. Зсуви й опливини, в основному, приурочені до ділянок схилів великих річкових долин. Потужність зсувних відкладів вимірюється декількома метрами. Зсуви проникають на великі глибини, накладаючи характерний відбиток на морфологію схилів. Генетичні типи зсувів – течії. Вид руху мас гірських порід – воднопластична течія глинистих порід по підготовленій поверхні.

Методи дослідження. Польові дослідження та камеральна обробка даних. Дослідження зсувних процесів здійснювалося за допомогою геофізичних методів, зокрема вертикального електричного зондування та аналізу природних імпульсних електромагнітних полів Землі з використанням GPS-прив'язки [7]. На основі отриманих баз даних проведено розрахунок характеристик генезису зсувних процесів та ймовірнісних індексів у програмному середовищі QGIS. Плагін Kadastr.Live, що працює на базі QGIS, застосовує API сервісу Kadastr.Live для ідентифікації місця розташування ділянки за її кадастровим номером. Цей плагін розроблено в рамках ініціативи «Відкриті інструменти просторового планування для України». Шляхом векторного аналізу шарів земельно-кадастрової карти та карти зсувонебезпечних територій Косівського району була проведена оцінка рівня ризику для кожної ділянки відповідно до її кадастрового номера.

Оцінка техногенної складової ризиків зсувної небезпеки. Основним завданням аналізу статистичних даних є розподіл груп факторів на природні та техногенні компоненти. За результатами аналізу груп факторних ознак розподілені за законом розподілу: нормальний закон розподілу – природна, логнормальний – техногенна складова.

Оцінка зсувної небезпеки техногенної складової факторів [8] проводилась за методикою:

1) узагальнення техногенної складової факторів, що впливають на розвиток зсувів (таблиця 1);

2) оцінка статистичних параметрів вибірки та приведення рядів даних до безрозмірних значень (нормалізація);

3) розрахунок функції взаємної кореляції між факторними характеристиками, що впливають на розвиток зсувів із розрахунком інформативності – внеску кожного фактору R_{np} (1):

$$R_{npj} = \frac{\sum |r_{i,j}|}{\sum_i \sum_j |r_{i,j}|} \cdot 100\%, \quad (1)$$

де: $r_{i,j}$ – коефіцієнт парної кореляції між i, j змінними в матриці коефіцієнтів кореляції факторної характеристики;

4) розрахунок інтегрального показника, що враховує комплексну дію всіх факторів, що впливають на розвиток зсувів (2):

$$\Phi_i = \sum_{j=1}^m X_{ij}^{norm}, \quad (2)$$

де: m – кількість часових факторів, i – рік спостереження. виконання тривалого тимчасового прогнозу (табл. 1).

Результати дослідження. Доступність даних Державного земельного кадастру як взаємодіючого джерела інформації значно спрощує аналіз окремих параметрів, зокрема тих, що можуть суттєво впливати на характер землекористування. Використання геоінформаційного підходу дозволяє ефективно оцінювати рівень зсувної небезпеки на будь-якій території.

Згідно з даними плагіна «Кадастр.Live», який працює на основі Державного земельного кадастру та QGIS, у межах досліджуваної зони було ідентифіковано 65 538 земельних ділянок загальною площею 26 969 га. Оскільки загальна площа досліджуваної території становить 877,2 км², земельно-кадастрові дані охоплюють близько 30% території, що переважно включає населені пункти.

У межах досліджуваної території виділено вісім основних типів землекористування [9]. Найбільшу частку займають землі сільськогосподарського призначення, які налічують 34 616 ділянок із загальною площею 11 492 га, що становить 13,1% території.

Значну площу також займають землі житлової та громадської забудови (30 073 ділянки, 5 297 га, 6,04%) і лісгосподарські угіддя (78 ділянок, 4 590 га, 5,23%). Землі природно-заповідного фонду мають 48 ділянок загальною площею 4 926 га (5,62%).

Меншу частку займають землі промисловості, транспорту та оборони (553 ділянки, 331 га, 0,38%), рекреаційні зони (141 ділянка, 197 га, 0,22%), землі водного фонду (18 ділянок, 96 га, 0,11%) і оздоровчого призначення (11 ділянок, 39 га, 0,04%).

Загалом у межах дослідження враховано 65 538 земельних ділянок із загальною площею 26 969 га, що становить 30,74% території.

Наступний етап цього дослідження передбачає аналіз ризиків зсувів для кожного кадастрового номера за допомогою методів геостатистики. Карта зсувної небезпеки, зображена на рис. 1, відображає дані у форматі піксельної сітки, де кожен піксель містить відповідне значення.

Під час створення карт зсувної небезпеки для земельних ділянок Косівського району застосовувався підхід зональної статистики, який дозволяє оцінювати значення растрових пікселів у межах полігональних об'єктів. Цей метод є оптимальним для аналізу територій із великою площею або витягнутою формою. У QGIS такий підхід реалізується через інструмент "Zonal Statistics", який дозволяє розраховувати середні, максимальні, мінімальні та інші статистичні показники для растрових даних у межах векторних полігонів. Це дає змогу визначити рівень зсувної небезпеки для кожної кадастрової ділянки та класифікувати територію за ступенем ризику (рис. 1).

Як видно з карти (рис. 1) розподілення ризику у межах окремого населеного пункту є неоднорідним і залежить від факторів, які ініціюють зсуви (табл. 1). Значення ризику змінюється від 30,03% до 90,6% та характеризує територію, як таку, що піддається розвитку зсувів, урахувавши значне антропогенне навантаження. Внаслідок людської діяльності найбільшому ризику зсувонебезпеки підлягають землі лісгосподарського призначення (48-50%), промисловості, транспорту, зв'язку, енергетики, оборони (44-46%) та сільськогосподарського призначення (44-46%). Така просторова ураженість підтверджена відповідним статистичним аналізом, де стандартне відхилення складає 3,7%, і характеризує дані як такі, що добре описують

Таблиця 1

Фактори активізації ЕГП (техногенна складова) [8]

Група чинників	Фактор	Характеристика його дії на процес	Факторна характеристика
Геологічні	Наявність ділянок порушення геологічного середовища	Характеризує: – клімат і ґрунти; – характер рельєфу; – геологічну структуру; – характер порід; – гідрогеологічні умови; – сучасні фізико-геологічні процеси	Відстань до ділянок порушення геологічного середовища (водозаборів, кар'єрів)
			Коефіцієнт ураженості дорожньою мережею та населеними пунктами в межах району
Ландшафтні	Рослинність	Визначає характер поверхневого стоку і об'єм зсувного тіла	Зміна лісових площ, відстань до границі лісу
Геоморфологічні	Вібрація	Зменшення опірності ґрунтів гірських порід, зміна мікрокліматичних і гідрологічних умов	Відстань до джерела вібрації, рівень вібрації
	Модифікація схилів		Зміна кута нахилу
	Перевантаження схилів		Коефіцієнт стійкості
	Наявність доріг, залізниць		Відстань до дороги, залізниці
Гідрологічні	Наявність населених пунктів	Визначає характер фільтрації	Відстань до населеного пункту
	Коефіцієнт порушеності		Коефіцієнт порушеності, рівень ґрунтових вод

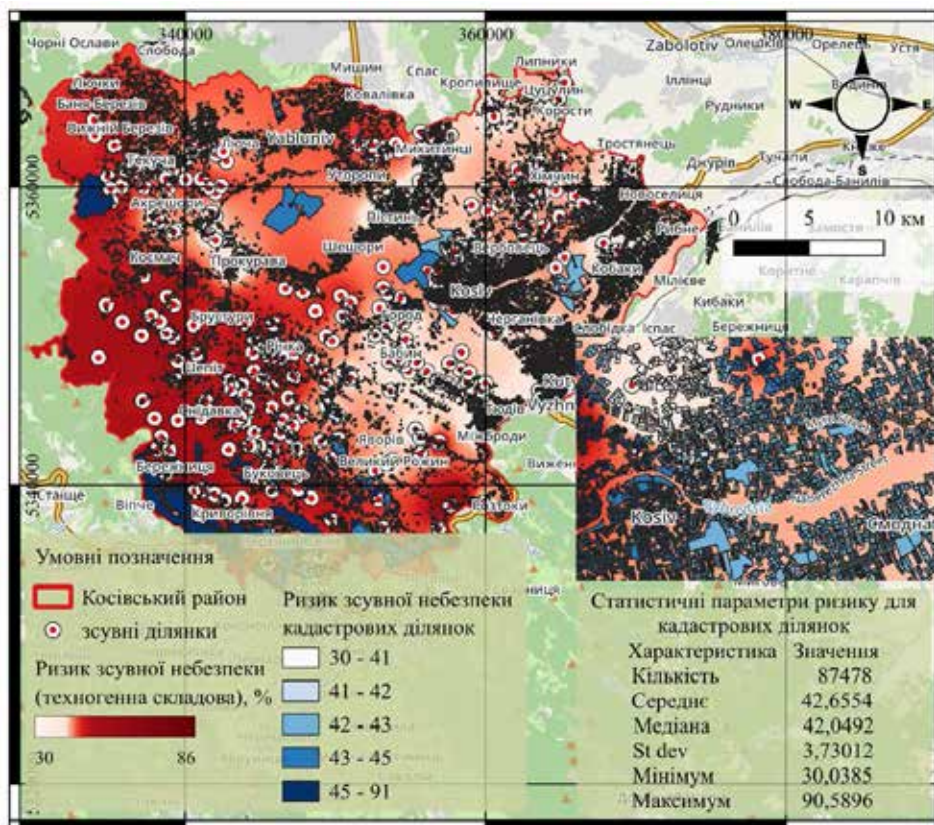


Рис. 1. Карта оцінки зсувної небезпеки для окремих кадастрових ділянок у межах Косівського району

значення ризику через оцінку значень пікселів растра карти ризиків зсувної небезпеки Косівського району.

Висновки. Дослідження екзогенних геологічних процесів, зокрема зсувів, є важливим завданням у контексті зростаючих кліматичних змін та антропогенного навантаження. На основі отриманих результатів було визначено, що найбільша частка зсувонебезпечних земель припадає на території сільськогосподарського та лісгосподарського призначення. Просторовий аналіз кадастрових ділянок у межах Косівського району показав неоднорідний розподіл ризиків, а їх значення варіюють від 30 до 91%, а 42% – є медіанним. Застосування методів геостатистичного аналізу, реалізованих

у середовищі QGIS, дозволило оцінити рівень ризику зсувів у межах кожного кадастрового номера. Використання концепції зональної статистики сприяло отриманню точніших характеристик зсувної небезпеки на основі растрових даних. Оцінка ймовірності ризику зсувної небезпеки кадастрових ділянок вперше виконана в складних інженерно-геологічних умовах.

Зважаючи на високий рівень ризику у досліджуваній місцевості, необхідним є впровадження превентивних заходів, спрямованих на мінімізацію впливу антропогенної діяльності на активізацію та розвиток зсувів з урахуванням складних інженерно-геологічних умов регіону.

Література:

1. Casagli, N., Canuti, P., Sassa, K. et al. The Sixth World Landslide Forum (WLF6) on November 14–17, 2023, Florence, Italy. *Landslides*. 2022. 19, 2539–2545. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10346-022-01941-4>
2. Santangelo, M., Althuwaynee, O., Alvioli, M. et al. Inventory of landslides triggered by an extreme rainfall event in Marche-Umbria, Italy, on 15 September 2022. *Sci Data* 2023. 10, 427. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41597-023-02336-3>
3. Ivanik, O., Shevchuk, V., Kravchenko, D., Yanchenko, V., Shpyrko, S., Gadiatska, K. Geological and Geomorphological Factors of Natural Hazards in Ukrainian Carpathians. *Journal of Ecological Engineering*, 2019. 20(4), 177-186. DOI: <https://doi.org/10.12911/22998993/102964>
4. Tymkiv, M., Kasiyanchuk, D. Research of Data Sequences of Groundwater Levels with Gaps. *Journal of Ecological Engineering*. 2019. 20(3), 141-151. DOI: <https://doi.org/10.12911/22998993/99744>
5. Zweifel, L., Samarin, M., Meusburger, K., Alewell, C. Investigating causal factors of shallow landslides in grassland regions of Switzerland. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 2021. 21, 3421–3437. doi: <https://doi.org/10.5194/nhess-21-3421-2021>
6. Sammarco F.S., Terracciano A. Networks, Cycles and Urban Metabolism. Mapping Critical Environment: Giugliano in Campania (Naples) as a Case Study. *Journal of Mediterranean Cities*, 2023, 3(1), 101–118. DOI: https://doi.org/10.38027/mediterranean-cities_vol3no1_7

7. Кузьменко Е.Д., Штогрин Л.В. Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу. Результати геологічного обстеження зсувних ділянок в Косівському районі Івано-Франківської області (Додаток 1. Інформаційний звіт про геологічне вивчення надр за темою № 29/10-34). Івано-Франківськ, 2010, 138 с.
8. Касіянчук Д.В. Оцінка екологічних ризиків для природної та техногенної складової екзогенних процесів Карпатського регіону : дис. ... канд. геол. наук. Івано-Франківськ, 2016. 154с.
9. Kasiyanchuk D., Shtohryn L. Assessment of landslide hazard risks on the example of the land cadastre of Kosiv district. *ISTCGCAP*. 2023, 98: 50-62. DOI: <https://doi.org/10.23939/istcgcap2023.98.050>

References:

1. Casagli, N., Canuti, P., Sassa, K. et al. (2022). The Sixth World Landslide Forum (WLF6) on November 14–17, 2023, Florence, Italy. *Landslides*. 19, 2539–2545. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10346-022-01941-4>
2. Santangelo, M., Althuwaynee, O., Alvioli, M. et al. (2023). Inventory of landslides triggered by an extreme rainfall event in Marche-Umbria, Italy, on 15 September 2022. *Sci Data*. 10, 427. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41597-023-02336-3>
3. Ivanik, O., Shevchuk, V., Kravchenko, D., Yanchenko, V., Shpyrko, S., Gadiatska, K. (2019). Geological and Geomorphological Factors of Natural Hazards in Ukrainian Carpathians. *Journal of Ecological Engineering*. 20(4), 177-186. DOI: <https://doi.org/10.12911/22998993/102964>
4. Tymkiv, M., Kasiyanchuk, D. (2019). Research of Data Sequences of Groundwater Levels with Gaps. *Journal of Ecological Engineering*. 20(3), 141-151. DOI: <https://doi.org/10.12911/22998993/99744>
5. Zweifel, L., Samarin, M., Meusburger, K., Alewell, C. (2021). Investigating causal factors of shallow landslides in grassland regions of Switzerland, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 21, 3421–3437. DOI: <https://doi.org/10.5194/nhess-21-3421-2021>
6. Sammarco, F.S., Terracciano, A. (2023). Networks, Cycles and Urban Metabolism. Mapping Critical Environment: Giugliano in Campania (Naples) as a Case Study. *Journal of Mediterranean Cities*. 3(1), 101–118. DOI: https://doi.org/10.38027/mediterranean-cities_vol3no1_7
7. Kuzmenko, E.D., Shtohryn, L.V. Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу. (2010). Результати геологічного обстеження зсувних ділянок в Косівському районі Івано-Франківської області (Додаток 1. Інформаційний звіт про геологічне вивчення надр за темою № 29/10-34). Івано-Франківськ. 138 с. (in Ukrainian)
8. Kasiyanchuk, D.V. (2016) Оцінка екологічних ризиків для природної та техногенної складової екзогенних процесів Карпатського регіону : дис. канд. геол. наук. Івано-Франківськ. 154 с. (in Ukrainian)
9. Kasiyanchuk, D., Shtohryn, L. (2023) Assessment of landslide hazard risks on the example of the land cadastre of Kosiv district. *ISTCGCAP*. 98: 50-62. DOI: <https://doi.org/10.23939/istcgcap2023.98.050>