

Запропонований новий метод кількісної еколого-геологічної оцінки ризиків зсувної небезпеки. Наведено алгоритм розрахунків, який включає вибір екзогенних геологічних процесів (ЕГП); аналіз просторово-часового розвитку ЕГП; створення прогнозних моделей розвитку; системи оцінки ризиків; побудову карт оцінок ризиків; узагальнення оцінок та побудову інтегральної карти. Побудовано картограму еколого-геологічної оцінки ризиків зсувної небезпеки Івано-Франківської області (Україна)

Ключові слова: екзогенні геологічні процеси, зсувні ризики, фактор, еколого-геологічна оцінка, картограма

Предложенный новый метод количественной эколого-геологической оценки рисков оползневой опасности. Приведен алгоритм расчетов, который включает выбор экзогенных геологических процессов (ЭГП); анализ пространственно-временного развития ЭГП; создание прогнозных моделей развития; системы оценки рисков; построение карт оценок рисков; обобщение оценок и построение интегральной карты. Построена картограмма эколого-геологической оценки рисков оползневой опасности Ивано-Франковской области (Украина)

Ключевые слова: экзогенные геологические процессы, оползневые риски, фактор, эколого-геологическая оценка, картограмма

УДК 551.311.21

DOI: 10.15587/1729-4061.2016.59687

РОЗРАХУНОК ЕКОЛОГО- ГЕОЛОГІЧНОЇ ОЦІНКИ РИЗИКІВ ЗСУВНОЇ НЕБЕЗПЕКИ

Д. В. Касіянюк

Асистент*

E-mail: dima_kasiyanchuk@ukr.net

Е. Д. Кузьменко

Доктор геолого-мінералогічних наук,
професор, завідувач кафедри*

E-mail: kuzmenko-eduard@rambler.ru

Т. Б. Чепурна

Кандидат геологічних наук, доцент*

E-mail: t.misak@yandex.ua

І. В. Чепурний

Кандидат геологічних наук, доцент*

E-mail: igor.chepurny@yandex.ua

*Кафедра геотехногенної безпеки та геоінформатики
Івано-Франківський національний
технічний університет нафти і газу
вул. Карпатська, 15,
м. Івано-Франківськ, Україна, 76019

1. Вступ

Кліматичні зміни та інтенсивна господарська діяльність призводять до активного розвитку екзогенних геологічних процесів, до яких відносять зсуви, карст, підтоплення, селі. Катастрофічні прояви цих процесів зумовлюють значну небезпеку для життєдіяльності людей. Тому важливим завданням є моніторинг та прогнозування розвитку ЕГП, що дозволить приймати управлінські рішення для мінімізації наслідків від їх прояву. Важливість та необхідність оцінки ризиків та небезпек від проявів ЕГП підтверджується роботами багатьох науковців [1–3].

Міністерством надзвичайних ситуацій України розроблено Концепцію Загальнодержавної цільової соціальної програми захисту населення і територій від надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру на 2012–2016 роки.

Карпатський регіон є одним із найбільш уражених зсувними процесами, які обумовлені дією внутрішніх сил Землі та зовнішнім впливом її природних і техногенних факторів.

В Івано-Франківській області майже 2 % території вражені зсувними процесами, їх площа складає близько 250 км², а загальна кількість становить понад 640 зсувонебезпечних ділянок, 80 % з них пов'язані з господарською діяльністю.

Зсувні ділянки і надалі продовжують активізуватися. Основними природними причинами розвитку зсувів є підмив річками берегів, сейсмічні поштовхи, збільшення крутизни схилів. Найбільше зазнає збитків від широкого розвитку зсувних процесів, селевих явищ та бокової ерозії річок гірська і передгірська територія області.

Тому особливо важливим є питання оцінки ризиків від зсувів, урахувавши значне господарське навантаження, як еколого-геологічного відображення прогнозного рівня зсувонебезпеки.

2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

Існує велика кількість методик оцінки ризиків від прояву екзогенних геологічних процесів, кожна з яких враховує три головні основні аспекти: вид ЕГП, ціль оцінки, локальні особливості його географічного місцеположення.

Серед праць під авторством українських науковців, які всебічно розкривають питання оцінки ризиків від ЕГП, потрібно відмітити роботи [4, 5]. Найвні у цих роботах методичні підходи лягли в основу методики розрахунку зсувних ризиків, яка наведена у даній статті.

Важливість розгляду питання вивчення факторів та умов розвитку ЕГП, як складових при оцінці еколо-

го-геологічних ризиків, демонструють Світові форуми зсувів, що відбулися у Токіо (2008 р.), Римі (2011 р.), Пекіні (2014 р.) та ін.

У працях [6–8] авторами було звернуто увагу на особливості та умови, в яких проходить активізація зсувів. Виділені підходи до вивчення факторів та факторних характеристик, обумовлені передумови до покращення та удосконалення методик проведення моніторингових спостережень, якісного та кількісного аналізу, створення прогнозних моделей та систем управління і оцінки ризиками від негативної дії зсувопроявів.

У роботі [9] розглядаються питання оцінки ризиків для геологічних процесів, як складової еколого-геологічної безпеки життєдіяльності людини. Важливими є дослідження [10–12], де вперше авторами було запропоновано нові підходи до аналізу процесу розвитку та активізації ЕГП. Ними вперше широко обґрунтовано не тільки вибір факторів просторової та часової динаміки ЕГП, а й визначено основні підходи до побудови карт ризиків від проявів ЕГП.

Трирівнева оцінка ризиків, що запропонована авторами [13], полягає в структурованому аналізі ризиків. Багаторівнева система оцінок дозволила узагальнити існуючі методи оцінки ризиків у процесі аналізу змін навколишнього середовища від впливу небезпечних геологічних процесів. Проте така структурованість є надмірною і не окреслює значний математичний апарат, який має бути присутнім, прийомів за способів його використання та можливості уніфікації до інших моделей.

Цікавим є дослідження авторів [14], де значення ризиків прив'язувалось до чисельності населення. Однак автором не врахована значна динамічність обраного фактора.

Запропонований [15] підхід з вивчення стабільності схилів із використанням складових процесу активізації та розвитку гравітаційних процесів дозволив автору виокремити групи факторів, які сприяють зростанню зсувному ризику. Природні та техногенні фактори були інтерпретовані автором, як окремі групи складових розвитку силових процесів.

Дослідження [16] пропонує основу для районування ризику та зменшення небезпеки стихійних лих у найбільш уразливих регіонах. Проте, тут не врахований комплексний підхід до інженерно-геологічного районування території, як можливої територіальної основи для оцінки ризику.

Авторами [17] вперше запропоновані різні підходи до оцінки небезпеки на основі їх статистичного аналізу. Це дозволило запропонувати системні і ефективні стратегії управління для зниження економічних і соціальних втрат від зсувів.

Основними недоліками усіх вищезазначених досліджень є залучення до аналізу обмеженої кількості факторів, які не представляють повну сукупність природно-техногенних процесів, що впливають на процес розвитку і активізації ЕГП; використання коефіцієнтів просторової ураженості території при оцінці ризиків; відсутність прогнозної інтегральної оцінки ризиків і небезпек для обраної території досліджень.

Проблема вивчення та прогнозування зсувних процесів набула в даний період першочергового значення, у зв'язку із різким загостренням екологічної ситуації

та деградації навколишнього середовища в цілому. За таких умов постійно зростають ризики природно-техногенних аварій і катастроф, людські та матеріальні втрати від їх впливу. Тому особливої уваги набуває проблема забезпечення стабільної рівноваги між екологічними та соціальними ризиками, а їх оцінка на сьогоднішній день є пріоритетною як для країни, так і міжнародних інституцій.

3. Мета та задачі дослідження

Метою дослідження є обґрунтування та реалізація нового методу розрахунку оцінки еколого-геологічних ризиків розвитку та активізації ЕГП при прогнозуванні зсувних процесів.

Для досягнення мети необхідно:

- провести аналіз існуючих методик і виділити з них основні підходи при оцінці ризиків життєдіяльності;
- виконати просторовий і часовий аналіз факторних характеристик з урахуванням динаміки кількості населення в межах населених пунктів, де зафіксовані прояви зсувів;
- побудувати на основі сформованого математичного апарату картограму еколого-геологічних ризиків у межах окремих адміністративних і територіальних одиниць.

4. Алгоритм еколого-геологічної оцінки інтегрального ризику зсувонебезпеки

Ризик – ймовірні очікувані економічні, соціальні та екологічні наслідки від прояву небезпечних ЕГП, які оцінюються по відношенню до конкретних об'єктів та визначають еколого-геологічну небезпеку, тобто можливість прояву ЕГП, здатних загрожувати життєдіяльності людей, наносити матеріальний збиток, негативно впливати на навколишнє середовище.

Оцінка проявів ЕГП у просторі визначається шляхом районування території за певними ознаками – геоморфологічними, геологічними, тектонічними тощо. Основними характеристиками, що відображають ступінь небезпеки процесів, є: інтенсивність і активність їх прояву, потужність (параметри) та швидкість протікання, обумовлені значною мірою генезисом процесів [9]. Інтенсивність визначається коефіцієнтом ураженості, що виражає відношення площі (довжини, числа) усіх форм прояву даного процесу (незалежно від віку) до всієї площі ділянки. Активність виражається через зіставлення діючих форм конкретного процесу на даній ділянці до загального числа цих форм. Потужність визначається розмірами форм прояву процесу, частіше за все – це площа та об'єм. Найважливішим параметром безпеки є швидкість.

На сучасному етапі виокремився напрямок у прогнозуванні ЕГП, чому значною мірою посприяв розвиток ГІС-технологій, який передбачає визначення небезпеки за факторами, які ініціюють процес [10–12]. Послідовність методу розрахунку еколого-геологічної оцінки ризиків передбачає розрахунок кількісних факторних характеристик у точках проявів ЕГП, статистичний аналіз отриманих рядів даних з подальшим

розрахунком інтегрального показника, на основі якого створюються карти імовірностей. Часовий прогноз здійснюється на основі статистичного аналізу часових рядів факторів із подальшим розрахунком часового інтегрального показника та його екстраполяцією.

Під еколого-геологічним ризиком слід розуміти кількісну міру небезпеки. Вимірювати еколого-геологічний ризик можна в імовірнісних величинах або у вигляді математичного очікування збитку.

У загальному вигляді екологічний ризик R є статистичною оціночною категорією, що являє собою векторну багатокomпонентну величину:

$$R = \{S, P, W\}, \tag{1}$$

де S – опис сценаріїв ризику; P – імовірність реалізації ризику; W – збитки (втрати).

Далі наводимо варіаційні методики розрахунку еколого-геологічного ризику від ЕГП.

У працях [4, 5] для оцінки ризиків у межах населених пунктів пропонується враховувати поширеність ЕГП і кількість населення. Для сільських населених пунктів, де розвиток ЕГП наближений до природного режиму, за умов практично відсутніх систем інженерного захисту чи попередження, загальний ризик життєдіяльності і господарювання $R_{СНП, заг}$ слід визначати як

$$R_{СНП, заг} = d_{СНП} \cdot K_{НЕГП}, \tag{2}$$

де $d_{СНП} = D_{СНП} / \Sigma f_{СНП}$ – щільність населення в сільських населених пунктах; $D_{СНП}$ – загальна кількість сільського населення в межах території оцінки; $\Sigma f_{СНП}$ – сумарна площа сільських населених пунктів.

Індивідуальний ризик життєдіяльності рівний:

$$R_{СНП, инд} \approx d_{СНП} \cdot K_{НЕГП} \cdot (\Sigma f_{СНП}) \approx D_{СНП} \cdot K_{НЕГП}. \tag{3}$$

Просторово-часову ймовірність прояву природної складової небезпечного екзогенного геологічного процесу (НЕГП) $K_{НЕГП}$ за цією методикою пропонується розраховувати як добуток просторової ураженості території $K_{пр}$ та часової динаміки розвитку $K_{час}$. Просторова ураженість території $K_{пр}$ об'єктами НЕГП є відсотком сумарної площі $f_{пр}$ зсувних ділянок, карстових ліюк, зон підтоплення та просідань у межах площі оцінки S області, регіону, промислового майданчика та ін.

$$K_{пр} = \frac{f_{пр}}{S}. \tag{4}$$

Часова динаміка розвитку $K_{час}$ НЕГП являє собою частоту активізації цих процесів за певний проміжок часу T (років).

Техногенну складову пропонується враховувати через використання коефіцієнту $K_з$, який відображає ефект стабілізації від наявності захисних систем і споруд.

Формула (2) є базовою при оцінці ризиків життєдіяльності від ЕГП. У залежності від цілі оцінки до наведених параметрів у формули додаються відповідні коефіцієнти.

Авторами статті у попередніх дослідженнях розроблено методологію просторово-часового прогнозуван-

ня розвитку основних видів ЕГП (селі, карст, зсуви) [10, 12]. Результатами її застосування є геоінформаційні прогностичні моделі розвитку ЕГП, які дозволяють визначити ймовірність їх прояву у просторі та часі. Розрахунки та відповідні карти представлені нижче.

Послідовність проведення еколого-геологічної оцінки інтегрального ризику наведена на рис. 1 [18]. Виходячи із зазначеної структури, слід проаналізувати етапи оцінки інтегрального ризику.

На першому етапі відбувається визначення видів ЕГП, для яких буде проводитись розрахунок ризиків.

Другий етап передбачає: створення бази даних ЕГП, що включає координати місця та час прояву, параметри; вибір та обґрунтування просторових та часових факторів прояву, розрахунок факторних ознак як кількісної міри їх впливу; визначення законів розподілу, уніфікацію та нормалізація змінних; кореляційний, кластерний, факторний аналіз просторових факторних ознак з метою виявлення стохастичного зв'язку, виявлення дублюючих ознак; оцінка інформативності факторів; розрахунок еталонних комплексних показників.

Третій етап передбачає моделювання в середовищі ГІС імовірності просторового розвитку ЕГП відносно часової активності шляхом порівняння природних і техногенних умов території у вигляді розрахованих комплексних показників для точок сітки відносно ЕКП.

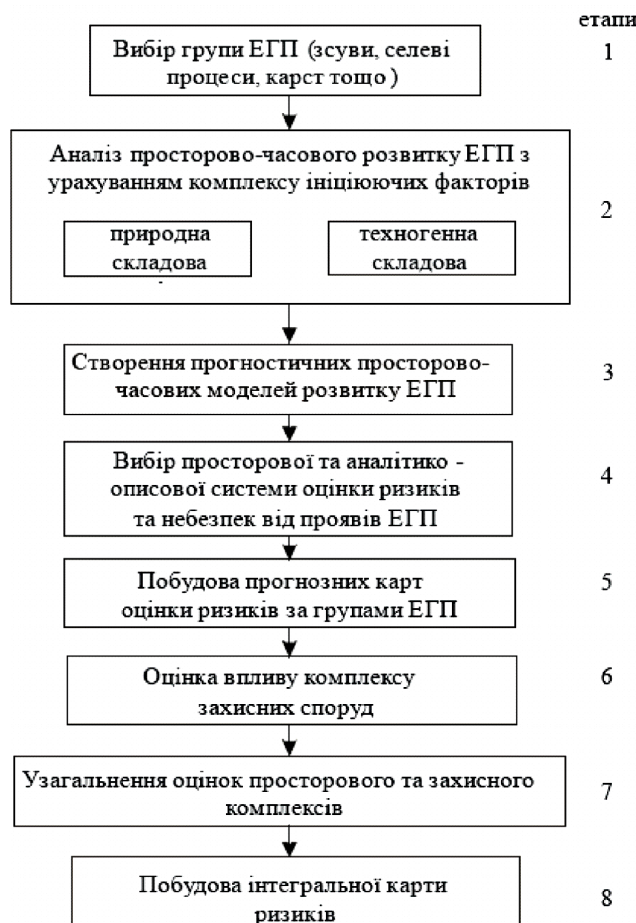


Рис. 1. Схема еколого-геологічної оцінки інтегрального ризику

На четвертому етапі визначається підхід до розрахунку оцінки ризиків. На основі відомого цільового напрямку та вимог до результатів розрахунку обираються коефіцієнти та параметри, які потрібно врахувати.

П'ятий етап передбачає розрахунок на основі прогностичної моделі оцінок ризиків ЕГП. Враховуються параметри і коефіцієнти, які обрані на етапі 4.

Шостий етап передбачає тематичне картографування оцінки ризиків для певного виду ЕГП з або без врахування впливу комплексу захисних споруд.

Сьомий та восьмий етапи полягають в узагальненні розрахованих вище оцінок за кожним з видів ЕГП та побудові інтегральної карти ризиків за всіма видами ЕГП.

У процесі аналізу було обрано 766 зсувних ділянки, для яких розраховані факторні характеристики на основі даних картографічних матеріалів (за допомогою програми ГІС MapInfo Professional 10.0). Статистичний аналіз проводився з допомогою програми STATISTICA 6.1.478 – Russian Edition.

5. Статистичних аналіз і побудова карт імовірностей зсувопроявів для окремих складових груп факторів і розрахунок їх ризиків

Територія Івано-Франківської області (Україна) здебільшого уражена зсувними процесами у межах Верховинського району – басейн р. Річка, де зсувними процесами охоплено приблизно 50–60 % території; Косівського району – м. Косів та населені пункти в басейні р. Рибниці, р. Люча; Коломийського району – правобережжя р. Прут; Снятинського району – м. Снятин, с. Новоселиця.

Для проведення статистичного аналізу факторів активізації та розвитку зсувів і подальшого просторового прогнозу створена база геоданих, яка містить подану картографічну й атрибутивну інформацію відповідних факторних характеристик груп факторів для природної та техногенної складових (табл. 1, 2) [19].

Основне завдання статистичного аналізу даних полягає в розподілу груп факторів на природну та техногенну складові.

За результатами аналізу було розподілено групи факторних характеристик за законами розподілу: нормальний – природна складова, логнормальний – техногенна складова.

Окремим важливим етапом дослідження є оцінювання внеску (R_{np_i} – коефіцієнту інформативності) окремих факторних характеристик у процес розвитку й активізації зсувів, розрахованих за формулою (5):

$$R_{np_i} = \frac{\sum_j |r_{ij}|}{\sum_i \sum_j |r_{ij}|}, \tag{5}$$

де r_{ij} – значення коефіцієнта парної кореляції між i, j .

Вагові коефіцієнти інформативності є оцінні значення, що вказують на відносну важливість або вплив кожної факторної характеристики. Мета визначення вагових коефіцієнтів полягає в можливості встановити окреслені пріоритети роботи, тобто підтвердити або спростувати висунуту гіпотезу. Їх визначають із метою

підтвердження правильності вибору факторів та означення «ваги» факторних характеристик.

Таблиця 1

Фактори активізації ЕГП (природна складова)

Група чинників	Фактор	Факторна характеристика
Геологічні	Літофаціальний тип гірських порід, що підстиляють	Коефіцієнт ураженості літофаціальної зони, геологічної свити
	Інженерно-геологічний район	Коефіцієнт ураженості в межах району (в т. ч. іншими ЕГП)
Метеорологічні	Опади	Кількість (інтенсивність) опадів
Тектонічні	Тектонічні порушення	Відстань до тектонічного розлому
Геоморфологічні	Базис ерозії	Відстань до базису ерозії
	Висота	Абсолютна оцінка над рівнем моря
	Крутість схилу	Кут нахилу денної поверхні
	Найближчий поверхневий прояв ЕГП	Відстань до найближчого прояву
	Вододіл	Відстань до вододілу
	Напрямок схилу	Експозиція схилу

Результати розрахунку вагових коефіцієнтів, що представлені в табл. 3, вказують на рівноцінність впливу факторних характеристик активізації та розвитку природних складових розвитку ЕГП.

Значення вагових коефіцієнтів інформативності як для техногенної, так і для природної складової знаходяться приблизно в однакових відсоткових значеннях. Це перш за все пов'язане геоморфологічними особливостями регіону.

Усі обрані фактори не дублюють один одного та є незалежними за ступенем своєї факторної дії, що підтверджено додатковим кластерним та факторним аналізом.

Таблиця 2

Фактори активізації ЕГП (техногенна складова)

Група чинників	Фактор	Факторна характеристика
Геологічні	Наявність ділянок порушення геологічного середовища	Відстань до ділянок порушення геологічного середовища (водозаборів, кар'єрів)
		Коефіцієнт ураженості дорожньою мережею та населеними пунктами в межах району
Ландшафтні	Рослинність	Зміна лісових площ, відстань до границі лісу
Геоморфологічні	Вібрація	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	Відстань до населеного пункту
		Коефіцієнт порушеності, рівень ґрунтових вод

Для отримання величини ймовірності зсувної небезпеки необхідно виконати розрахунок інтегрального показника або функції комплексного показника, що пов'язаний із просторовим розподілом. Після визначення статистичних характеристик розподілів кожної факторної характеристики й виконання процедури нормалізації по кожному з факторів, отримуємо нормалізоване значення факторної характеристики Π_{ij} , де i – номер точки спостереження, j – номер характеристики зсувонебезпеки. Значення сумарного показника $\Pi_{\Sigma i}$ розраховується за формулою (6) [10]

$$\Pi_{\Sigma i} = \sum \Pi_{ij} \times V_j, \tag{6}$$

де Π_{ij} – нормалізовані значення факторної характеристики; V_j – вагові коефіцієнту інформативності j -ї характеристики.

Для отриманої вибірки інтегрального показника зсувної небезпеки, розподіл імовірностей якого підлягає нормальному закону (рис. 2), розраховуються значення середнього арифметичного та середньоквадратичного відхилення. Після цього, з використанням відомої формули, яка описує диференційну криву нормального закону розподілу ймовірностей випадкової величини $f(\Pi_{ij})$, з перерахунком усіх значень функції імовірностей таким чином, щоб її максимальне значення рівнялося б одиниці, оцінюються ймовірність зсувної небезпеки в будь-якій точці території (7):

$$f(\Pi_{ij}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{\Pi_{ij}^2}{2}} \cdot \max(f(\Pi_{ij}))^{-1}, \tag{7}$$

де $\max(f(\Pi_{ij}))^{-1} = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}}$ – уведення поправки для виконання умови, що максимум кривої рівний 1.

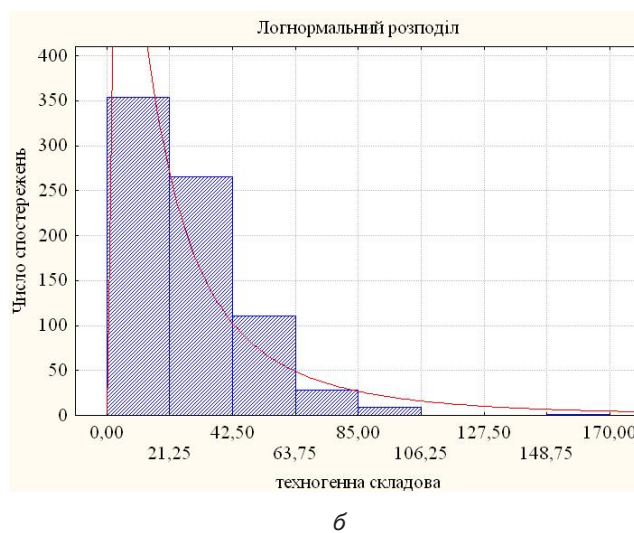
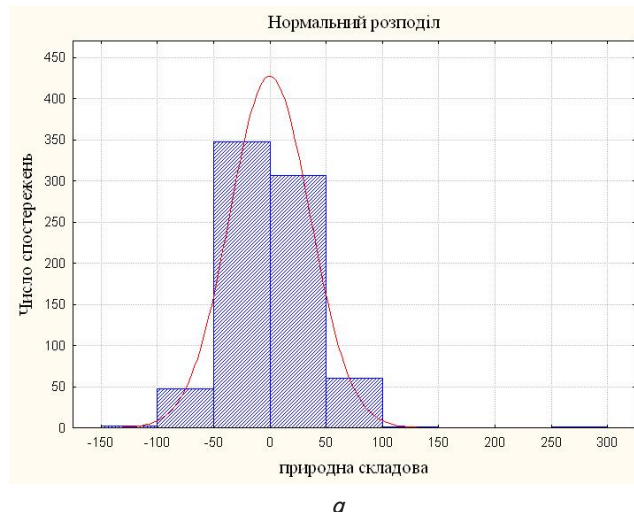


Рис. 2. Гістограми інтегральних показників, розрахованих з урахуванням усіх факторів і їхніх вагових коефіцієнтів інформативності: а – природна складова – нормальний закон розподілу; б – техногенна складова – логнормальний закон розподілу

Таблиця 3

Вагові коефіцієнт інформативності факторних характеристик факторних характеристик, %

природна складова		техногенна складова	
Коефіцієнт ураженості літофациальної зони, геологічної свити	10	Відстань до ділянок порушення геологічного середовища (водозаборів, кар'єрів)	12
Коефіцієнт ураженості в межах району (в т. ч. іншими ЕПП)	12	Коефіцієнт ураженості дорожньою мережею та населеними пунктами в межах району	13
Кількість (інтенсивність) опадів	8	Зміна лісових площ	10
Відстань до тектонічного розлому	9	Відстань до джерела вібрації, рівень вібрації	11
Відстань до базису ерозії	8	Зміна кута нахилу	12
Відстань до вододілу	9	Коефіцієнт стійкості	9
Абсолютна оцінка над рівнем моря	15	Коефіцієнт порушеності	14
Кут нахилу денної поверхні	11	Відстань до дороги, залізниці	9
Відстань до найближчого прояву	8	Відстань до населеного пункту	10
Експозиція схилу	10		

Використання геоінформаційної системи просторового аналізу імовірності виникнення чи активізації ЕПП (рис. 3) процесів передбачається для вирішення різного кола завдань – від адміністративного управління до запобігання чи мінімізації наслідків надзвичайних ситуацій.

Аналізуючи дані карт, варто відмітити про існування значної відмінності в основних складових, які активізують зсуви. Розвиток зсувів у межах південно-східної частини регіону на пряму пов'язане із глинистими утвореннями, які сприяють їх активізації, а отже є природним процесом. Значна ймовірність розвитку як природної так і техногенної складових у південно-західній частині аргументується складним рельєфом та великою щільністю населення, яке значно впливає на розвиток ЕПП. Імовірність значного техногенного впливу пояснюється значними вирубками лісів, переваженнями схилів, змінами кутів укосів тощо.

Використаємо дані природної складової для розрахунку еколого-геологічної оцінки ризиків.

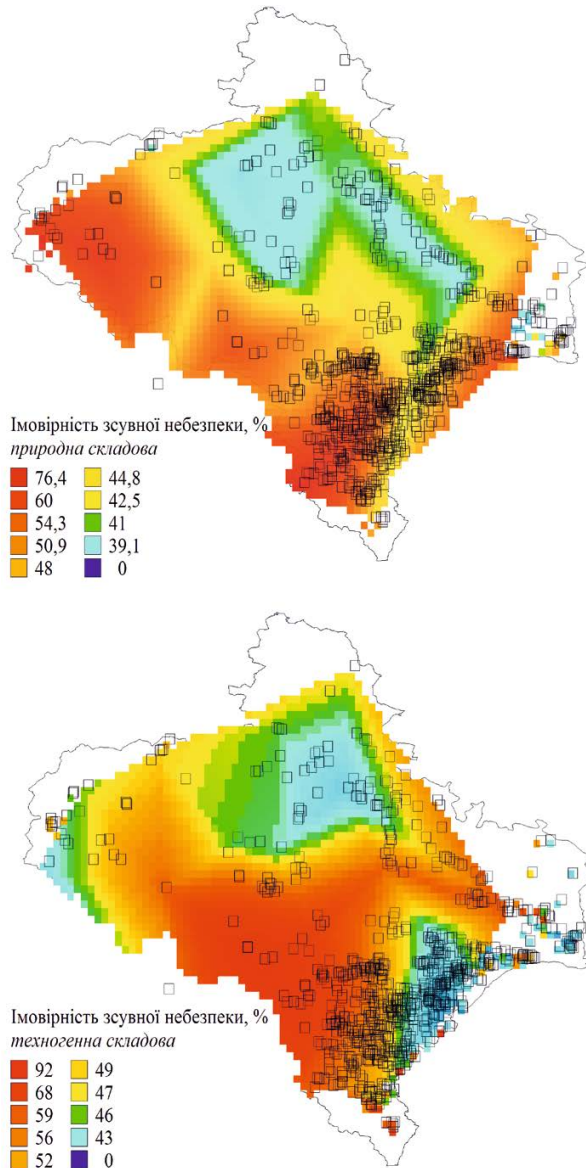


Рис. 3. Схематична карта імовірності зсувної небезпеки для території Івано-Франківської області (для різних складових)

Імовірність розвитку зсуву на ділянці в j -й точці на час t визначається за формулою (8)

$$P_{j,t} = P(Q_j) \cdot P(\Omega_t), \quad (8)$$

де $P(Q_j)$ – значення імовірності зсувопрояву в j -й точці; $P(\Omega_t)$ – значення імовірності зсувної активізації на час t (рік).

Середнє значення зсувонебезпеки i -тої ділянки розраховане як

$$\bar{P}_{i,t} = \frac{\sum_{n=1}^m P_{j,t}}{m}, \quad (9)$$

де $\sum_{n=1}^m P_{j,t}$ – сумарна ймовірність розвитку зсувів на ділянці; m – кількість точок сітки, для яких розраховувалась просторова ймовірність на час t в межах обраної ділянки.

Таким чином, формула оцінки еколого-геологічного ризику $Rpr_{i,t}$ (осіб/км² для i -ої ділянки на час t) матиме вигляд (10)

$$Rpr_{i,t} = \bar{P}_{i,t} \cdot N_i \cdot \frac{\sum_{n=1}^k s_n}{S_i} \cdot Z_i, \quad (10)$$

де $\bar{P}_{i,t}$ – середнє значення зсувної небезпеки для i -тої ділянки на час t , част. од.; $\sum_{n=1}^k s_n$ – сумарна площа зсувів на ділянці за досліджуваний час, км²; S_i – площа i -тої ділянки, км²; N_i – кількість населення в i -й ділянці, осіб; Z_i – коефіцієнт, що враховує наявність зсувозахисних об'єктів, част. од.

На основі побудованої карти імовірностей зсувної небезпеки (природна складова) та у відповідності до формули (10) розрахована та сформована у вигляді табл. 4 у межах інженерно-геологічного районування.

Таблиця 4

Еколого-геологічна оцінка ризиків зсувної небезпеки Івано-Франківської області на прикладі інженерно-геологічного районування регіону

№ ІГР	Назва району	Площа ІГР, S_i , км ²	Площа зсувів, $\sum_{n=1}^k s_n$, км ²	Кількість населення, N_i , осіб	Імовірність (середня), $\bar{P}_{i,t}$	$Rpr_{i,t}$, осіб/км ²
129	Вододільно-Верховинсько-Горганські хребти	1429,050	32,330	17573	56,644077	0,001576
127	Верхньо-Дністровсько-Сколевські Бескиди	875,797	6,616	71081	61,278575	0,003757
126	Скибові Горгани	1582,820	8,880	66255	55,9548517	0,001314
122	Стрийсько-Бистрицька древньотерасова передгірська рівнина	3142,400	16,640	657522	43,4538333	0,004815
16	Сильно розчленована височина Опілля	1404,770	20,410	97725	47,0069484	0,004751
130	Ворохта-Путивльське древньотерасове низькогір'я з Ясинською	257,934	31,770	15111	53,4225013	0,038549
131	Гірські хребти Свидовець, Чорна Гора, Лосова	739,821	33,241	5093	58,3110067	0,001804
123	Південно-Покутсько-Буковинська передгірська рівнина	1515,570	60,620	242870	45,9286745	0,029439
132	Рахівсько-Чивчинський масив	185,410	0,000	10	0	0
19	Подільське Придністров'я	596,197	0,554	34762	47,3464333	0,000257
124	Північно-Покутсько-Прутська рівнина	1532,770	27,500	162017	42,0126684	0,007967
132	Покутсько-Буковинські Карпати	550,455	59,203	41863	46,0717414	0,037685

Примітка: № ІГР – Номер інженерно-геологічного району

Результуюча табл. 4 розрахунку зсувної небезпеки Івано-Франківської області на прикладі інженерно-геологічного районування регіону демонструє основні параметри, які необхідно використати при побудові моделі еколого-геологічної оцінки ризиків зсувопроявів. Представлення результатів у межах інженерно-геологічних районів пов'язане, перш за все з аналізом просторового поширення зсувів, яке в основному залежить від геолого-геоморфологічних та гідрологічних факторів. Саме таке районування є одним із найбільш репрезентативним із оцінки ризиків ЕГП.

6. Картографічне представлення та аналіз результатів оцінки еколого-геологічних ризиків зсувів

Оцінка ризиків зсувної небезпеки сформована на основі карти (рис. 3) імовірностей та формул (8)–(10) і представлена у вигляді картограми еколого-геологічної оцінки ризиків зсувної небезпеки.

Еколого-геологічний ризик ділянки (регіону) R_{pr} – це ризик прояву зсувів, що враховує середню просторово-часову ймовірність їх розвитку, частку сумарної площі зсувів за досліджуваний період на площі району (регіону), як показника максимального площинного ураження, щільність населення, наявність захисних комплексів на території.

Відсутність захисних комплексів, що могли би послабити негативний вплив зсувних процесів на екологічний стан та безпеку життєдіяльності людини, дозволяє нам прирівняти значення коефіцієнту Z до одиниці. Для побудови картограми з урахуванням техногенної складової необхідно володіти інформацією про фінансове забезпечення зсувозахисних об'єктів, їх будівництво, реконструкцію, та можливі втрати від негативних наслідків зсувів.

Побудована картограма оцінок еколого-геологічних ризиків зсувонебезпеки для адміністративно-територіальних одиниць (селищних і міських рад) у межах інженерно-геологічного районування території наведена на рис. 4. Зсувні ризики розраховані на період максимальної їх дії.

Запропонована методика оцінки ризиків від проявів ЕГП є логічним продовженням досліджень просторово-часового прогнозування розвитку ЕГП і базується на розрахунку просторових і часових комплексних показниках. Алгоритм еколого-геологічної оцінки інтегрального ризику ЕГП включає сім основних етапів: визначення ЕГП, для яких буде проводитись розрахунок ризиків; аналіз просторово-часового розвитку ЕГП з урахуванням комплексу ініціюючих факторів; створення прогностичних просторово-часових моделей розвитку ЕГП; вибір просторової та аналітико-описової системи оцінки ризиків та небезпек від їх проявів; побудова прогностичних карт оцінок ризиків

за видами ЕГП; узагальнення оцінок просторового та захисного комплексів та побудова інтегральної карти ризиків за всіма видами ЕГП.

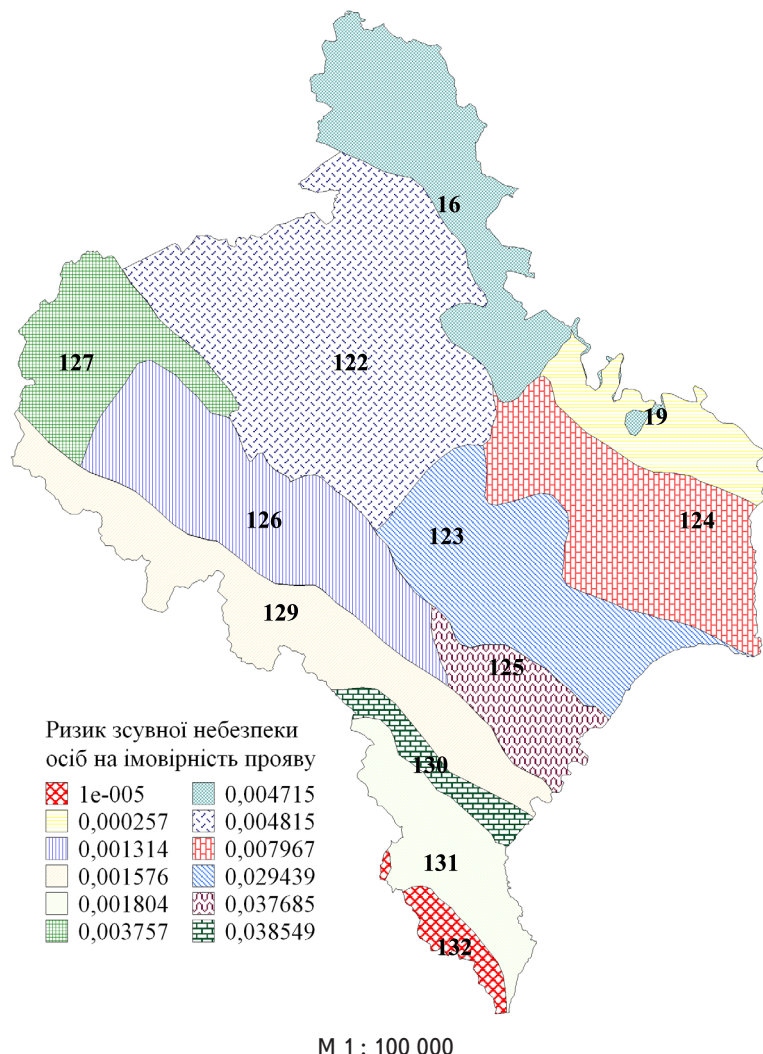


Рис. 4. Схематична карта еколого-геологічної оцінки ризиків зсувної небезпеки (на прикладі інженерно-геологічного районування території Івано-Франківської області)

7. Висновки

Дослідження ризиків та аналіз методик їх оцінок, які використовуються на сучасному етапі показали потребу в розробці нового підходу до еколого-геологічної оцінки інтегрального ризику екзоконлексний вплив факторів їх розвитку.

У результаті проведених досліджень вирішені наступні питання:

1. Проаналізовано та узагальнено методики розрахунків ризиків активізації та розвитку ЕГП. Запропонований метод розрахунку у даній статті, базується на комплексному еколого-геологічному підході до вирішення проблеми оцінки ризиків. Системний підхід, який використаний в аналізі існуючих методик, алгоритмів оцінок ризиків, дозволив вперше запропонувати просторово-часовий підхід до розрахунку еколого-геологічної оцінки ризиків зсувної небезпеки.

2. Виконаний просторовий аналіз факторних характеристик дозволив виділити природну і техногенну складову факторів активізації та розвитку зсувних процесів. Часові фактори розвитку зсувів, кількості населення використані як складові максимально можливої дії процесів зсувоутворення та ризику небезпеки для життєдіяльності людей.

3. Сформований математичний апарат для розрахунку еколого-геологічних ризиків дозволив комплексно підійти до розрахунку зсувного ризику для ділянки (регіону). Він враховує середню просторово-часову ймовірність розвитку зсувів, частку сумарної площі

зсувів за досліджуваний період на площі району (регіону), як показника максимального площинного ураження, щільність населення, наявність захисних комплексів на території.

Теоретичні та практичні результати були використані при оцінці ризиків для території Івано-Франківської області. За їх результатами побудовано картограму еколого-геологічних оцінок зсувних ризиків для адміністративно-територіальних одиниць у межах інженерно-геологічного районування регіону. Ризики розраховані на їх максимально можливу дію на будь-який період часу.

Література

1. Cascini, L. Landslide hazard and risk zoning for urban planning and development [Text] / L. Cascini, C. Bonnard, J. Corominas, R. Jibson, J. Monterio-Olarte // Proceeding of the International Conference on Landslide Risk Management, Vancouver, Canada, 2005. – P. 199–235.
2. Hu, R. Regional risk assessment of karst collapse in Tangshan, China [Text] / R. Hu, M. Yeung, C. Lee, S. Wang, J. Xiang // Environmental Geology. – 2001. – Vol 40, Issue 11-12. – P. 1377–1389. doi: 10.1007/s002540100319
3. Bell, R. Quantitative risk analysis for landslides – Examples from Bildudalur, NW-Iceland [Text] / R. Bell, T. Glade // Natural Hazards and Earth System Sciences. – 2004. – Vol. 4, Issue 1. – P. 117–131. doi: 10.5194/nhess-4-117-2004
4. Биченок, М. М. Ризики життєдіяльності у природно-техногенному середовищі [Текст] / М. М. Биченок, С. П. Іванюта, Є. О. Яковлев; Ін-т пробл. нац. безпеки Ради нац. безпеки і оборони України. – К., 2008. – 160 с.
5. Лисиченко, Г. В. Природний, техногенний та екологічний ризики: аналіз, оцінка, управління: монографія [Текст] / Г. В. Лисиченко, Ю. Л. Забулонов, Г. А. Хміль. – К.: Наукова думка, 2008. – 537 с.
6. Margottini, C. Landslide Science and Practice: Volume 3. Spatial Analysis and Modelling [Text] / C. Margottini, P. Canuti, K. Sassa // SpringerLink: Bücher, Springer Science & Business Media, 2013. – 440 p. doi: 10.1007/978-3-642-31310-3
7. Sassa, K. Landslide Science for a Safer Geoenvironment: Volume 1. The International Programme on Landslides (IPL) [Text] / K. Sassa, P. Canuti, Y. Yin. – SpringerLink: Bücher, Springer, 2014. – 493 p. doi: 10.1007/978-3-319-04999-1
8. Margottini, C. Landslide Science and Practice: Volume 5. Complex Environment [Text] / C. Margottini, P. Canuti, K. Sassa. – SpringerLink: Bücher, Springer Science & Business Media, 2013. – 354 p. doi: 10.1007/978-3-642-31427-8
9. Шеко, А. И. Оценка опасности и риска экзогенных геологических процессов [Текст] / А. И. Шеко, В. С. Круподеров // Геоэкология. – 1994. – № 1. – С. 11–20.
10. Кузьменко Э. Д. Закономерная связь между величинами вероятностей возникновения оползней и оползневой опасности при комплексном воздействии природно-техногенных факторов. Научное открытие. Диплом №310. [Текст] / Э. Д. Кузьменко, Е. И. Крыжановский, А. Н. Карпенко, А. М. Журавель // Научные открытия: сборник кратких описаний научных открытий, научных идей, научных гипотез. – Москва: МААНОИ, 2007. – С. 64–65.
11. Yilmaz, I. GIS based susceptibility mapping of karst depression in gypsum: A case study from Sivas basin (Turkey) [Text] / I. Yilmaz // Engineering Geology. – 2007. – Vol. 90, Issue 1-2. – P. 89–103. doi: 10.1016/j.enggeo.2006.12.004
12. Кузьменко, Э. Д. Закономерная связь между величинами вероятностей развития приповерхностного карста в карбонатных и сульфатных породах и карстопровальной опасности при комплексном воздействии природно-техногенных факторов. Научное открытие. Диплом № 394 [Текст] / Э. Д. Кузьменко, Г. И. Рудько, Е. П. Вдовина, И. В. Чепурный // Научные открытия: сборник кратких описаний научных открытий, научных гипотез. – Москва: изд. Российской академии естественных наук, 2011. – С. 29–30.
13. Liua, Z. A three-level framework for multi-risk assessment [Text] / Z. Liu, F. Nadim, A. Garcia-Aristizabal, A. Mignan, K. Fleming, B. Q. Luna // Georisk: Assessment and Management of Risk for Engineered Systems and Geohazards. – 2015. – Vol. 9, Issue 2. – P. 59–74. doi: 10.1080/17499518.2015.1041989
14. Guzzetti, F. Evaluation of flood and landslide risk to the population of Italy [Text] / F. Guzzetti, C. P. Stark, P. Salvati // Environmental Management. – 2005. – Vol. 36, Issue 1. – P. 15–36. doi: 10.1007/s00267-003-0257-1
15. Fell, R. A framework for landslide risk assessment and management [Text] / R. Fell, K. K. S. Ho, S. Lacasse, E. Leroi // Proceedings International Conference on Landslide Risk Management, London, Taylor & Francis, 2005. – P. 3–25.
16. Fell, R. Landslide risk assessment and acceptable risk [Text] / R. Fell // Canadian Geotechnical Journal. – 1994. – Vol. 31, Issue 2. – P. 261–272. doi: 10.1139/t94-031
17. Jia, H. Risk mapping of integrated natural disasters in China [Text] / H. Jia, D. Pan, J.-A. Wang, W.-C. Zhang // Natural Hazards. – 2015. – Vol. 80, Issue 3. – P. 2023–2035. doi: 10.1007/s11069-015-2057-3
18. Daia, F. C. Landslide risk assessment and management: an overview [Text] / F. C. Daia, C. F. Lee, Y. Y. Ngaib // Engineering Geology. – 2002. – Vol. 64, Issue 1. – P. 65–87. doi: 10.1016/s0013-7952(01)00093-x
19. Касянчук, Д. В. Методологія кількісної прогнозу оцінки ризиків екзогенних геологічних процесів з використанням ІС-технологій [Текст]: матер. доп. XII Міжнародної наукової конференції. / Д. В. Касянчук, І. В. Чепурний, Т. Б. Чепурна, Н. В. Гурська // Геоінформатика: теоретичні та прикладні аспекти. – Київ: Всеукраїнська асоціація геоінформатики., 1 електрон. опт. диск (CD-ROM), 12 см, 2014.
20. Касянчук, Д. В. Статистичний аналіз факторів природної та техногенної складової розвитку зсувів [Текст] / Д. В. Касянчук // Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Серія: Геологія – Географія – Екологія. – 2014. – № 1128, Вип. 41. – С. 139–148.