

Міністерство освіти і науки України  
Івано-Франківський національний технічний університет  
нафти і газу

На правах рукопису

Касіянчук Дмитро Васильович

УДК 551:435.82+435.627+311.2

**Оцінка екологічних ризиків для природної та техногенної складової  
екзогенних геологічних процесів Карпатського регіону**

Спеціальність 21.06.01 – Екологічна безпека

Науковий керівник:

Кузьменко Едуард Дмитрович,  
доктор геолого-мінералогічних наук,  
професор

## ЗМІСТ

<b>ВСТУП</b> .....	4
<b>РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ І ВИБІР НАПРЯМІВ ДОСЛІДЖЕНЬ</b> .....	8
1.1. Аналіз основних наукових підходів до вибору факторів.....	8
1.2. Основні методи оцінки екологічних ризиків.....	19
Висновки до розділу 1.....	23
<b>РОЗДІЛ 2. ОСОБЛИВОСТІ ПОШИРЕННЯ ТА АНАЛІЗ РОЗВИТКУ ЕКЗОГЕННИХ ГЕОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ</b> .....	25
2.1. Фізико-географічна характеристика.....	25
2.2. Загальна характеристика екзогенних геологічних процесів.....	26
2.2.1. Зсуви.....	26
2.2.2. Селі.....	30
2.2.3 Карст.....	32
2.3. Аналіз проявів екзогенних геологічних процесів у межах території дослідження.....	37
2.3.1. Зсувні процеси.....	37
2.3.2. Карстопрояви.....	40
2.3.3. Селі.....	41
Висновки до розділу 2.....	43
<b>РОЗДІЛ 3. СКЛАДОВІ ФАКТОРИ РОЗВИТКУ ТА АКТИВІЗАЦІЇ ЕКЗОГЕННИХ ГЕОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ</b> .....	44
3.1. Особливості вибору факторів.....	44
3.2. Природна складова факторів.....	54
3.3. Техногенна складова факторів.....	58
3.4. Часові фактори розвитку екзогенних геологічних процесів.....	65
Висновки до розділу 3.....	75

<b>РОЗДІЛ 4. СТАТИСТИЧНИЙ АНАЛІЗ ФАКТОРІВ ПРИРОДНОЇ ТА ТЕХНОГЕННОЇ СКЛАДОВОЇ ЕКЗОГЕННИХ ГЕОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ.....</b>	<b>77</b>
4.1. Зсуви.....	78
4.2. Карст.....	88
4.3. Селі.....	93
Висновки до розділу 4.....	104
<b>РОЗДІЛ 5. ЕКОЛОГО-ГЕОЛОГІЧНА ОЦІНКА РИЗИКІВ ЕКЗОГЕННИХ ГЕОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ.....</b>	<b>105</b>
5.1. Методологія кількісної прогнозової оцінки ризиків екзогенних геологічних процесів з використанням ГІС-технологій.....	105
5.2. Розрахунок інтегральних показників, побудова карт імовірностей поширення екзогенних геологічних процесів та екологічних ризиків.....	108
Висновки до розділу 5.....	120
<b>ВИСНОВКИ.....</b>	<b>122</b>
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....</b>	<b>124</b>
<b>ДОДАТКИ.....</b>	<b>139</b>

## ВСТУП

**Актуальність теми.** Проблема безпеки населення та численних господарських об'єктів у районах розвитку небезпечних екзогенних геологічних процесів є однією з основних соціально-екологічних проблем сьогодення через збитки, що завдаються цими процесами. Основними видами екзогенних геологічних процесів, які заподіюють найбільш негативні наслідки, є зсуви, селі та карст.

Поєднання факторів техногенної та природної небезпеки значно збільшує ризики виникнення надзвичайних ситуацій та посилює їх негативні наслідки.

З метою запобігання зсувів, постановою Кабінету Міністрів України №1256 від 22 вересня 2004 р. затверджена “Комплексна програма протизсувних заходів на 2005-2015 роки”. Робота виконана у рамках загальнодержавної “Програми розвитку мінерально-сировинної бази України на період до 2030 р.”.

Пошук та реалізація механізмів аналізу екзогенних геологічних процесів через розділення складових процесів їх активізації та розвитку на природні і техногенні дозволить якісніше та ґрунтовніше підходити до оцінки ризиків, які завдають ці процеси, для забезпечення екологічної безпеки регіону та держави у цілому.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дисертаційну роботу виконано на кафедрі геотехногенної безпеки та геоінформатики Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу у рамках держбюджетної теми “Екологічна безпека і землевпорядне забезпечення адміністративно-територіальних одиниць та експлуатаційна надійність промислових об'єктів” (ДР 0110U000339).

Крім того, автор брав участь у проведенні геолого-геофізичних досліджень зсувів за темами № 29/10-34 “Обстеження зсувів та розроблення системи прогнозування зсувонебезпеки на території Причорномор'я (в межах Одеської області) та Карпатського регіону (в межах Івано-Франківської та Чернівецької областей)” та № Ф56/29-2014 “Прогнозування селевих процесів із застосуванням ГІС-технологій та розробка прогностичної моделі селевої небезпеки для території Карпат”.

**Мета і завдання дослідження.** Метою роботи є обґрунтування вибору

факторів, які сприяють активізації та розвиткові небезпечних екзогенних геологічних процесів і ускладненню екологічної ситуації, для подальшої оцінки ризиків від їх проявів як основи визначення екологічної безпеки на прикладі території Карпатського регіону.

Для досягнення поставленої мети були виокремлені наступні завдання:

- провести аналіз відомих факторів активізації екзогенних геологічних процесів та виділити з них природну та техногенну складову;
- запропонувати нові техногенні та часові фактори розвитку і активізації екзогенних геологічних процесів;
- обґрунтувати вибір факторів утворення екзогенних геологічних процесів та визначити закономірності їх розподілу з метою попередження їх негативного впливу на навколишнє середовище;
- розробити методику оцінок еколого-геологічних ризиків з використанням геоінформаційних систем;
- побудувати карти оцінки еколого-геологічних ризиків просторового розвитку ЕГП.

**Об’єктом досліджень** є прояви екзогенних геологічних процесів, як загроза екологічній безпеці Карпатського регіону.

**Предметом досліджень** є методи еколого-геологічної оцінки ризиків для природної та техногенної складової факторів екзогенних геологічних процесів.

### **Наукова новизна одержаних результатів.**

- 1) уперше обґрунтовано необхідність роздільного дослідження природних і техногенних факторів та визначені нові факторні характеристики розвитку небезпечних екзогенних геологічних процесів;
- 2) уперше визначено ступінь впливу природних і техногенних факторних характеристик на розвиток зсувних, селевих і карстових процесів з використанням відповідних інтегральних показників небезпеки проявів екзогенних геологічних процесів у Карпатському регіоні;
- 3) уперше встановлено залежність взаємозв’язку фаз Місяця та температурних показників з активізацією зсувних процесів з подальшим

використанням отриманих закономірностей у запропонованій моделі часового прогнозу екзогенних геологічних процесів;

4) уперше сформовано та апробовано алгоритм просторового аналізу оцінки еколого-геологічних ризиків з урахуванням кількісних імовірнісних прогнозних характеристик екзогенних геологічних процесів як основи побудови карт ризиків безпеки територій.

**Практичне значення одержаних результатів.** Побудовані схематичні карти ймовірності зсувної, карстової, селевої небезпек, що дали змогу відзначити існування значної відмінності складових, які сприяють розвитку й активізації екзогенних геологічних процесів. Побудовані карти еколого-геологічних ризиків зсувної та карстової небезпеки на прикладі Івано-Франківської області та обґрунтована просторово-часова модель ризиків для території східної частини басейну ріки Верхньої Тиси (Закарпатська область), що дозволяє оцінити основні ризики безпеки життєдіяльності людей на території дослідження та забезпечити швидке реагування для унеможливлення погіршення екологічної ситуації.

Матеріали дослідження впроваджені в навчальному процесі та Державній службі України з надзвичайних ситуацій, що підтверджується відповідними актами.

**Особистий внесок здобувача.** Здобувачем особисто вивчено, проаналізовано та узагальнено матеріали з активізації небезпечних екзогенних геологічних процесів. Проведено детальний аналіз просторових і часових закономірностей розподілів параметрів утворення зсувів, карсту та селів і даних по їх розвитку. Виконаний детальний аналіз складових розвитку екзогенних геологічних процесів, доведено необхідність роздільного дослідження, шляхом розділу їх на природні і техногенні процесоініціюючі фактори, запропонована та реалізована нова методологія еколого-геологічної оцінки ризиків для відповідних факторних характеристик. Основні ідеї, наукові положення і теоретичні висновки дисертації сформульовані здобувачем особисто.

Основні результати досліджень відображені в публікаціях [11-22]. Наукові публікації [11-18,20] є одноособовими. З них [11,13,19,22] реферується БД SCOPUS. У них автором обґрунтовано вибір факторів для аналізу ЕГП, та доведено

необхідність їх роздільного дослідження; побудовано та проаналізовано карти ймовірностей розвитку ЕГП для природної та техногенної складових; забезпечено нові підходи до створення нової методології оцінки еколого-геологічних ризиків (на прикладі існуючих систем прогнозування). У [19] автору належить ідея, постановка задачі, обґрунтування вибору методики еколого-геологічної оцінки ризиків. У [21] запропоновано підходи до аналізу даних і представлення результатів, [22] автором виконано побудову карт імовірностей та зсувних ризиків.

**Апробація результатів дисертації.** Основні результати наукових досліджень доповідались на міжнародних та Всеукраїнських наукових конференціях: XI Міжнародна наукова конференція “Геоінформатика: теоретичні та прикладні аспекти” (м. Київ, 13-16 травня 2013 р.); XII Міжнародна наукова конференція “Геоінформатика: теоретичні та прикладні аспекти” (м. Київ, 12-15 травня 2014 р.), 3-ій Міжнародний конгрес “Захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування” (м. Львів, 17-19 вересня 2014 р.), Всеукраїнська науково-практична конференція “Геодезія. Землеустрій. Природокористування: присвячується пам’яті П.Г. Черняги” (м. Рівне, 5-6 листопада 2014р.), XIII Міжнародна наукова конференція “Геоінформатика: теоретичні та прикладні аспекти” (м. Київ, 12-15 травня 2015 р.), Міжнародна наукова конференція, присвячена 150-річчю з дня народження академіка Г.М. Висоцького (м. Суми, 20-23 травня 2015 р.).

**Публікації.** Основні положення, викладені у дисертації, опубліковані у 12 працях (9 одноосібних): 6 збірниках наукових праць, рекомендованих ДАК України, які реферуються міжнародними науково-метричними базами, з них 1 в науковому журналі, що реферується в БД SCOPUS; 6 тез доповідей, з яких 3 реферуються БД SCOPUS.

**Структура та обсяг роботи.** Дисертаційна роботи складається із вступу, 5 розділів, додатків. Повний обсяг дисертації – 154 сторінки, з них 16 додатків на 16 сторінках. Дисертація містить 39 рисунків, 24 таблиці та посилання на 129 літературних першоджерел на 15 сторінках.

## РОЗДІЛ 1

### ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ І ВИБІР НАПРЯМІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

#### 1.1. Аналіз основних наукових підходів до вибору факторів

Дослідження екзогенних геологічних процесів (ЕГП) вимагає знання та розуміння процесів активізації та розвитку небезпечних явищ, таких як зсуви, карсти, селі.

Важливим етапом у розумінні цих процесів є дослідження його складових – умов, за яких відбувається той чи інший небезпечний геологічний процес.

Фундаторами вчення про інженерно-геологічні процеси є Каменський Г. Н., Саваренський Ф. П., Попов І. В., Коломенський Н. В. та Панюков П. Н. Ними було запропоновано називати геологічні процеси, пов'язані з інженерною діяльністю людини, інженерно-геологічними.

На початковому етапі досліджень була проведена узагальнююча оцінка розвитку ЕГП (зсувів, карсту) та складено карти різного масштабу (Дранніков О. М., Погребов Н. Ф., Мушкетов Д. М., Попов І. В. та інші). Регулярне вивчення зсувів розпочалось з 1923 р. на Південному березі Криму та в м. Київ.

Основоположниками в розвитку теоретичних засад із вивчення просторово-часових умов розвитку екзогенних геологічних процесів, зокрема зсувів, є Бондарик Г. К. [23,24], Гулакян К. Л., Кюнцель В. В. [25,26], Ємельянова О. П. [27,28], Шеко А. І., Круподеров В. С., Постоев Г. П. [29,30].

Розробка методів прогнозу та оцінки ризиків у даний час будуються на підставі загальних теоретичних розробок із прогнозування та теоретичних положень інженерно-геологічних прогнозів. Як і в ряді інших галузей, прогнози в інженерній геології, зокрема прогнози розвитку схилів, можуть ґрунтуватися на детермінованих і ймовірнісних (стохастичних) моделях. Детерміновані прогнозні моделі для схилу можуть бути побудовані за даним аналізу стану схилу як динамічної системи в минулому і в даний час по змінюваних її параметрах і зв'язках. Прогноз будується



на підставі тенденції (тренду) зміни стану, інтерполяції поведінки системи в майбутньому. До детермінованих методів належать розрахунки співвідношення діючих сил (коефіцієнт стійкості), методи аналогів, фізичного моделювання, історико-геологічний облік факторів впливу [30].

Питаннями вивчення інженерно-геологічних умов території України на всіх рівнях, від локального до регіонального, багато років займались виробничі організації Державної служби геології та надр України, Український Державний інститут мінеральних ресурсів (УкрДІМР), який увійшов до складу Українського державного геолого-розвідувального інституту (УкрДГРІ), ДНВП «Геоінформ України» (до складу якого увійшло ДГП «Геопрогноз»), Міністерство регіонального розвитку та будівництва України (колишній Держбуд), Інститут геологічних наук НАН України. Дані щодо земельних ресурсів та ґрунтів, якісної характеристики ґрунтового покриву за структури землекористування (рілля, багаторічні насадження, сіножаті, пасовища) надаються Держкомземом України.

У 70-ті – 80-ті роки минулого століття виробничими підприємствами геологічної галузі був завершений перший етап регіонального вивчення структурно-геологічних, сейсмотектонічних та інженерно-геологічних закономірностей розвитку ЕГП у природних і техногенно-порушених умовах у межах опорних ділянок першої категорії. Ділянки були виділені за спільністю геоморфологічних умов і режиму основних змінних факторів для територій інженерно-геологічних областей. Результатом робіт стало складання інженерно-геологічних карт за адміністративним поділом – поширення ЕГП, районування за умовами розвитку та ураженості території ЕГП, вразливості об'єктів економіки та населених пунктів окремими видами процесів. Вони дають повну уяву про сучасний регіональний розвиток ЕГП, їх стан і вплив цих процесів на народногосподарські об'єкти та територію в цілому. Надалі вивчення ЕГП з метою підвищення інформативності моніторингових робіт проводилось на ділянках II та III категорій.

З метою вивчення основних природних і техногенних процесів, що виникають і розвиваються в геологічному середовищі та формують еколого-геологічні умови, у кінці 80-х років Держкомгеології України розробив «Комплексну програму еколого-

геологічних робіт на 1990-2005 р.р.» для підприємств і організацій галузі. У практику вивчення геологічних процесів запроваджені довготривалі спостереження, моделювання, схеми масо-енергообміну, оцінки інженерно-сейсмологічних і геодинамічних умов для комплексного вивчення впливу на геологічне середовище (ГС) сейсмічності, а також оцінки інженерно-сейсмогеологічного ризику.

Зазначена програма була розвинута щодо зсувів у «Комплексну програму протизсувних заходів на 2005-2014 роки», яка була затверджена постановою Кабінету Міністрів України 23.09.2004, №1256. Надалі, відповідно до Доручення Президента України та Доручення Кабінету Міністрів України (2010 рік) був розроблений та затверджений наказом по Державній службі геології та надр України (2011 рік) «План заходів щодо створення і запровадження системи прогнозування та упередження зсувних процесів у сейсмічних та техногенних зонах регіонів України на період 2011-2015 років». Роботи виконуються у рамках загальнодержавної «Програми розвитку мінерально-сировинної бази України на період до 2030 р.». До реалізації зазначених планів і програм були задіяні провідні геологічні організації. Ряд узагальнюючих робіт щодо аналізу стану геологічного середовища, як частини літосфери, що зазнає впливу господарської діяльності, виконав Інститут геологічних наук НАН України. Визначені межі та компоненти ГС, проведено його районування та типізацію. Виконана оцінка впливу господарської діяльності на геологічні тіла в межах окремих геоструктурних областей та ступеню охоплення певних літолого-стратиграфічних комплексів господарською діяльністю. Видано довідниковий посібник «Екологічна геологія України», де зібрані матеріали, що характеризують сучасний стан геологічного середовища країни у зв'язку з екологічними проблемами [31].

З 90-х років минулого століття галузевий інститут УкрДІМР (нині – Кримське відділення УкрДІГРІ) здійснював методичне керівництво моніторинговими роботами щодо ЕГП. Тут проведено районування території України в масштабі 1:500 000 за умовами розвитку геодинамічних процесів для цілей розміщення об'єктів атомної енергетики, типізацію зсувів території України за механізмом зміщення; районування природних умов розвитку ЕГП, аналіз існуючої режимної мережі з

вивчення ЕГП. Вивчались проблеми визначення граничного техногенного навантаження на ГС з урахуванням геодинамічних факторів, просторового розвитку та інтенсивності проявів морської абразії та акумуляції в береговій зоні Чорного й Азовського морів, виконано районування частини території України (Причорноморська западина, Кримський і Карпатський регіони) щодо техногенного впливу на інженерно-сейсмологічні умови. Важлива інформація щодо техногенного впливу на геологічне середовище узагальнена в Національних доповідях про стан техногенної та природної безпеки в Україні [1-10]. В останні роки геологічна служба країни впритул підійшла до проблеми комплексної регіональної оцінки впливу природних і техногенних чинників на екологічний стан геологічного середовища, а також оцінки ризику змін його екологічних параметрів.

Підрозділи підприємств геологічної галузі виконали інженерно-геологічне районування території України масштабу 1:200 000 за складністю умов освоєння, особливостями геологічної будови території, поширенням та ураженістю ЕГП, порушеністю геологічного середовища, схильністю до виникнення небезпечних геологічних процесів при освоєнні території. Узагальнення матеріалів почав здійснювати ДГП «Геопрогноз», де була виконана робота з підготовки та складання зведеної карти умов розвитку ЕГП території Української РСР масштабу 1:500 000. До комплексу ввійшли карти поширення та ураженості території УРСР ЕГП з пояснювальною запискою до них.

На сьогодні роботи такого спрямування проводяться у ДНВП «Геоінформ України», який став наступником ДГП «Геопрогноз». Фахівцями підприємства виконується оцінка та аналіз матеріалів щодо впливу техногенного навантаження на екологічні параметри геологічного середовища, еколого-геологічного ризику території України, умов розвитку та активізації ЕГП із застосуванням сучасних методів обробки матеріалів. Результати узагальнення досліджень викладені в інформаційних бюлетенях про стан ГС у цілому по Україні, окремих регіонах і адміністративних областях. Оцінка динаміки несприятливих складових ГС під впливом техногенезу виконана щодо території Донбасу, Передкарпаття, Придністров'я, Одеської та Київської областей, окремих промислово-міських

агломерацій (Харківська, Запорізька, Дніпропетровсько-Дніпродзержинська, Одеська), а також Горлівсько-Єнакієвського промвузлу.

У звітах ДІГФ “Геоінформ” [32,33] на базі статистичної оцінки постійних і змінних чинників наведено кількісний аналіз причин зсувоутворення, запропоновано на базі фактичного матеріалу обґрунтування методичних положень зведеного регіонального прогнозу можливої активізації зсувного процесу в Закарпатському регіоні, структуризовано результати зведеного регіонального прогнозу можливої активізації зсувного процесу з попередньою оцінкою територіального ризику впливу на окремі населенні пункти Закарпатської області.

У роботі [34] узагальнені результати багаторічних досліджень, які вдосконалили систему оцінки інженерно-геологічних умов території України. Результати представлені із застосуванням сучасних ГІС-технологій. Були визначені просторові та часові закономірності розвитку небезпечних ЕГП. Проаналізовано та виокремлено негативні наслідки техногенного впливу, які призводять до змін інженерно-геологічних умов, сприяють їх активізації. Виконано оцінку можливих геологічних небезпек від проявів ЕГП, запропоновано шляхи попередження та зменшення негативних наслідків від розвитку і активізації ЕГП. Дослідження виконані, перш за все, для зсувів і підтоплення, з метою забезпечення стабільної екологічної безпеки та безпеки життєдіяльності населення.

Розгляд інженерно-геологічних умов території є складовою, яка дозволяє узагальнити основні першопричини розвитку небезпечних екзогенних геологічних процесів. Перш за все, такий розгляд обумовлений особливостями геологічної будови території, поширенням та ураженістю екзогенними процесами, порушеністю геологічного середовища, тощо. Однак такий підхід до вивчення факторів розвитку та активізації екзогенних геологічних процесів є недостатнім для дослідження їх природної складової. Слід розуміти, що складові розвитку зсувів, селів та карсту, як основних, найбільш небезпечних та поширених екзогенних геологічних процесів не можуть розглядатися тільки в умовах інженерно-геологічного районування.

Значний господарський вплив на геологічне середовище підтверджує необхідність пошуку та реалізацію нових груп факторів – техногенних. Природні

фактори розвитку і активізації екзогенних геологічних процесів включають інженерно-геологічні умови території як основу для пошуку та розгляду інших факторів. Зміни геологічного середовища є значним чинником забезпечення екологічної рівноваги регіону та держави у цілому. Очевидно, що необхідність та важливість розуміння екологічної складової розвитку та активізації зсувів, селів та карсту має спиратися на першопричини та можливі негативні наслідки, які заподіюють ці небезпечні екзогенні геологічні процеси.

Тому, розгляд еколого-геологічної складової дозволить провести аналіз не тільки опосередкованого впливу будь-якого процесу, – як факту, що відбувся, а дозволить на новому рівні обґрунтувати підходи до дослідження екзогенних геологічних процесів.

Розглянемо деякі публікації головного наукового журналу, що вивчає проблеми зсувів та висвітлює інформацію про діяльність Міжнародного консорціуму із зсувів.

1) У роботі [35] запропоновано нову методологію оцінки індексу ризику зсуву на національному рівні, за допомогою напівкількісного моделювання. З десяти карт індикаторів із розміром комірки  $90 \times 90$  м була розроблена і реалізована модель з використанням просторової багатофакторної методики оцінки в системі ГІС. Кожен індикатор оброблявся, аналізувався і стандартизувався відповідно до його внеску в розвиток зсуву, і його поширенням. Ці показники були узагальнені, з використанням прямого, попарного порівняння й розрахунком їх вагового внеску, щоби отримати кінцевий індекс ризик зсувів. Отримані результати аналізувались за фізико-географічним принципом. Факторами, які враховувались при розрахунку були кількість опадів, тектонічні рухи, кут нахилу, геологічні умови, наявність доріг, будівель, стан ландшафтів.

2) Праця авторів [36] цікава, насамперед, розробкою системи, яка би дозволила будівлям протистояти негативним наслідкам від зсувів. Запропонований метод включав у собі такий надважливий фактор як енергія руху, що утворилася під час руху зсувних мас. Авторами підкреслюється роль ґрунтів і гірської породи, яка може як збільшити свою кінетику руху так і уповільнюватись. Наявність значного

навантаження на рухомі маси сприяє інтенсифікації руху, а отже і збільшенні об'єму рухомих мас.

3) У роботі [37], автори представляють модель, яка дозволяє оцінити, де, коли і який розмір зсуву буде наступним. Метод, представлений в цьому дослідженні, оцінює зсуви на основі однорідних сприйнятливих одиниць (ОСО). ОСО є комбінацією зсувних явищ і геоекологічних факторів, яка використовує автоматизовану процедуру сегментації, на основі статистично розрахованих незалежних просторових значень імовірності. Для кожної ОСО отримано частоту з різночасових даних. Час і розмір ймовірності розраховуються з використанням моделі Пуассона і зворотної гамма моделі, відповідно. Кількісна оцінка зсувів розраховується як спільне ймовірності розміру зсуву, зсувів у кожних ОСО для різних періодів часу та для різних їх розмірів. Зокрема серед представлених факторів для ОСО використані: літологія, інженерно-геологічні особливості, щільність порід, рослинність, потужність ґрунтів, вивітрювання, експозиція схилу, кут нахилу, дренажна здатність, зона доріг.

4) Цікавою є робота [38], де автори наводять методику попередження зсувів на основі виявлення взаємовпливу між опадами та активізацією зсувів на обласному рівні. Зокрема, із року виділена складова, яка відповідає за періоди дощів, за змінний інтервал часу, кумулятивних часових інтервалів у 1-, 2 - та 3-дня після значних опадів.

Основні переваги пропонованої методики наступні:

- простота й швидкість процедури їх передбачення, які можуть бути легко реалізовані в оперативні системи раннього попередження;
- вихід моделі безпосередньо пов'язаний з рівнями критичності (нормальна, помірна, висока), для того, щоб дати швидке попередження, навіть без експертної інтерпретації;
- обмежена кількість вхідних даних, які складаються лише зі щоденних опадів, що дозволяє спростити систему та покращити співпрацю між органами влади;

– враховуються всі типи зсувів, зокрема для неглибоких і глибоких рухів виявляються два різних кумулятивних часових інтервали.

5) Не менш важлива проблема описана та досліджена авторами [39] стосується повзучих зсувів. За результатами моніторингових досліджень на основі сформованої автоматизованої моделі збору та обробки даних дозволила встановити ряд статистичних залежностей між зсувними процесами та їх основними ініціюючими факторами. При створенні автоматизованої моделі авторами сформовано наступну факторну структуру: метеорологічні та гідрологічні умови, геологічні зміни, сейсмічні коливання на основі даних GPS спостережень.

6) У праці [40] головною метою дослідження було створення карти території, уразливої до зсувів. При цьому були застосовані три різні методики ГІС на базі декількох критеріїв прийняття рішень – штучних ієрархічних зв'язків, зваженої лінійної складової, і упорядкування середньозваженого. Для цього було створено дев'ять різних тематичних шарів або зсувоініціюючі фактори.

У якості факторів були обрані: абсолютна висота, опади, рослинний покрив (у тому числі урбанізовані території), експозиції схилів, кута нахилу, відстаней до доріг, відстані до водозливів, проникності ґрунтів, рельєфу місцевості.

Важливість досліджень зсувів демонструють Світові форуми зсувів, що відбулися у Токіо (2008р.), Римі (2011р.), Пекіні (2014р.), де розглядалися не тільки теоретичні основи зсуву як процесу, а й дослідження його з точки зору фізики процесу з побудовою складних моделей взаємозв'язків і прогнозу.

У працях [41–43] 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.

Щорічно на базі університету Салерно (Італія) у Міжнародній школі LARAM (Оцінка ризиків зсувів та їх пом'якшення) проходять навчання з вивчення зсувів, їх

аналізу, моделювання, вивчення впливу на природні та техногенні компоненти навколишнього середовища.

Міжнародна програма по зсувах (The International Programme on Landslides – IPL) була запущена для створення нової глобальної міждисциплінарної програми по зсувах і затверджена на Першій сесії Ради представників Міжнародного співтовариства по зсувах (The International Consortium On Landslides – ICL) в штаб-квартирі ЮНЕСКО в Парижі у листопаді 2002 року. Програма була розроблена для посилення існуючих програм співпраці в рамках тематичної сесії по зсувах у другій Всесвітній конференції Організації Об'єднаних Націй щодо зменшення небезпеки від стихійних лих (The United Nations World Conference On Disaster Reduction), що пройшла в Кобе, Японія, у січні 2015.

На сьогоднішній день IPL та ICL поєднують у собі всі можливі наукові здобутки, теоретичні та практичні розробки, навчальні програми з дослідження зсувів. Кооперацію з даними організаціями від України забезпечує Інститут телекомунікації та глобального інформаційного простору НАН України.

Важливість дослідження карстопровальних явищ свідчать роботи [44,45], де вказується на безпосередній зв'язок карстових провалів з факторами: характеристиками покриваючої товщі, рівнями ґрунтових вод, атмосферними явищами, геологічною і літологічною будовою, розвитком карсту, близькість до кар'єрів, водоймищ, доріг, розломів і глибиною рівня підземних вод.

У роботі [46] вказується на тісний зв'язок між кліматичним режимом і змінами геологічних та гідрогеологічних особливостей водоносного горизонту. Авторами досліджувались моделі змін рівнів води водоносних горизонтів у різні періоди, від річного максимуму до періоду засухи.

Важливість досліджень карсту демонструє 33-ій Міжнародний геологічний конгрес, в Осло (Норвегія), де понад сотня доповідей була присвячена саме цій проблемі.

У роботах [47–49] були представлені результати, які стосуються прогнозу небезпечних геологічних процесів, зокрема карстових, де карст розглядається як геологічне явище із погляду геології, гідрогеології, геоморфології.



У роботі [50] запропоновано ГІС "ГІС-КАРСТ Гірського Криму", яка стала значним кроком у розробці системи просторового прогнозування. Зокрема, в праці [51] запропоновано методику оцінки геологічних ризиків для техноприродних геосистем, в основі якої лежить карта ураженості.

У межах Міжнародної конференції «Карст без кордонів» («International Conference Karst Without Boundaries»), що пройшла в Хорватії, 2014 р., було представлено майже 400 доповідей, які репрезентували усі сучасні методи досліджень та оцінки ризиків від карстопровальних явищ. Зокрема, цікавою є праця, яка пояснює наявність карстових провалів, і характеризує підземний рух вод, які переносять із собою не тільки гірську породу, а й джерело питної води. У праці [52] запропоновано один із підходів до визначення процесу масоперенесення шляхом аналізу даних факторів, які спричиняють це. Для цього було створено універсальну базу геоданих, яка збирає всі наявні дані, про геологічні, гідрологічні, гідродинамічні, геохімічні та біологічні умови. Дана робота характеризує умови для проведення міжрегіонального дослідження та попередження карстопроявів.

Вартими уваги є міжнародні конференції, симпозиуми з вивчення карстових процесів, такі як «International Symposium on Hierarchical Flow Systems in Karst Regions» (Будапешт, 2013 р.), 5th International Symposium on Karst (Іспанія, 2014 р.). За їх результатами здійснено ряд прикладних досліджень, які охопили проблеми геоморфології карсту, основні причини виникнення, проблеми прогнозування та карстопровальної небезпеки. За результатами Міжнародного симпозиуму з карсту створена постійно діюча комісія при ЮНЕСКО «Environmental Change and Sustainability in Karst Systems», яка покликана на глобальному рівні досліджувати карстопровальні явища.

Вивчення процесів селеутворення на протязі значного періоду часу виконувалось в Карпатському регіоні як одному із найбільш селенебезпечних. Найбільш вагомим дослідженням селів Карпат і Криму належить визнаному на міжнародному рівні селевику, доктору географічних наук Оліферову А. Н. [53], який присвятив цьому питанню більше 50-ти років свого життя. Значний внесок у

розробку методик пошуку закономірностей і прогнозування селів у часі зробили Клюкін А. А. [54], Рудько Г. І. [55].

У праці [56] авторами висвітлюється проблема впливу зовнішніх причин, які призводять до збільшення навантаження, але не міцності порід; та внутрішніх – сили, які зменшують міцність порід без зміни навантаження. Таким чином, стверджується про природну та техногенну складову, які викликані внутрішніми або зовнішніми факторами. Серед зовнішніх факторів – перебудова або зміна навантаженості на схил, сейсмічна діяльність людини і зміни гідрологічного режиму (інтенсивність і тривалість опадів і т.д.). Основними внутрішніми змінами є трансформація порід через їх повільний рух, процеси вивітрювання та ерозії. При цьому маса та об'єм селевого потоку буде залежати від поєднання цих факторів за умов надзвичайної кількості опадів.

Крім того, авторами виділяються ще такі фактори: морфологічні, геологічні, гідрологічні умови, рослинність, рельєф, і антропогенні чинники, які потребують додаткового вивчення.

Дослідження дендрогеоморфологічних умов [57] дозволило авторам відтворити процес селесходження та виконати оцінку їх кількості. Основу досліджень складав аналіз попередніх селесходжень та аналізу їх вмісту. Наявність на схилах деревної рослинності значно зменшує відповідні ризики. Однак, тут автори пішли далі, і виконали оцінку товщини та щільності дерев, які можуть запобігати селесходженням.

Матеріали конференції [58] присвячені розгляду фундаментальних питань дослідження селевих процесів, оцінці сучасного рівня знань про селі та перспектив їх вивчення. Авторами конференції були підняті питання про головні фактори селеутворення (геологічні та метеорологічні), їх морфологію, методику оцінок ризиків та захисту території від їх впливу.

Дослідження селів на міжнародному рівні представлено конференціями та симпозіумами: 1 та 2 Міжнародні конференції “Селевые потоки: катастрофы, риск, прогноз, защита”, П'ятигорськ, 2008 р. і Москва, 2011 р.; Міжнародний симпозіум

“Floods and Modern Methods of Control Measures”, Тбілісі, Грузія, 2009 р.; 3-тя Міжнародна конференція “Debris Flow”, Мілан, Італія, 2010 р. та ін.

## 1.2. Основні методи оцінки екологічних ризиків

Постійні зміни в навколишньому середовищі під впливом глобальних змін клімату, порушенням гідрологічного режиму, геологічними порушеннями зумовлюють значну небезпеку для життєдіяльності людей. За умов складного екологічного стану країни, 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.

У роботі [59] головне питання присвячене оцінці екологічної безпеки, із наведеною методикою та побудованою картою «Районування території Львівської області щодо здатності зсувів зумовлювати надзвичайні ситуації». Автор виділяє п'ять типів територій – значного ризику, ризику, потенційного ризику, малого ризику та умови для розвитку зсувів відсутні. За основу, для аналізу, використано п'ять статичних чинників: потужність відкладів над ОДГ (деформуючий горизонт), літологічний склад гірських порід, що можуть зміщуватись (над ОДГ); сейсмічність (показники детального та мікросейсмічного районування); кут нахилу схилу, на якому розташована ділянка. Ризик виникнення чи активізації зсувних процесів оцінюється в балах.

Ризик автором розраховується за формулою 1.1:

$$Re(H) = W \cdot P(W_n) \cdot Ve(H) \cdot de, \quad (1.1)$$

де  $Re(H)$  – повний економічний ризик втрат від небезпеки  $H$  (дол. США/рік);  $W$  – швидкість зміщення певного об'єму зсуву ( $m^2/рік$ );  $P(W_n)$  – ймовірність реалізації швидкості зміщення зсуву (долі одиниці);  $Ve(H)$  – економічна уразливість об'єкту (долі одиниці);  $de$  – вартість об'єкту.

Згідно з матеріалами звіту по вивченні інженерно-геологічних умов [60], вказано, що «...Для оцінки ступеня небезпечності виникнення НС під впливом

статичних чинників розвитку ЕГП при побудові карт прийнята бальна оцінка з врахуванням дії кожного чинника. Значення чинників у розвитку ЕГП оцінюються в кожному випадку по п'ятибальній шкалі відповідно наявної дії чинника на розвиток ЕГП: потенційна – 1 бал (менше 5 % ймовірності виникнення); існує обмежена – 2 бали (від 5 до 25 % ймовірності виникнення); існує – 3 бали (25-50 % ймовірності виникнення); існує в багатьох випадках – 4 бали (50-75 % ймовірності виникнення); існує в більшості випадків – 5 балів (більше 75% ймовірності виникнення).

Ділянки та райони на картах віднесені до різного рівня небезпечності щодо виникнення НС і поділяються відповідно сумарній бальній оцінці чинників на: малого ризику – менше 8 балів; потенційного ризику – 8-16 балів; ризику – 16-24 балів; значного ризику – більше 24 балів».

Цікавою є робота [61], в якій запропонована ієрархічна модель розрахунку складного екологічного ризику та визначена величина цього ризику. У роботі використовується методика якісної оцінки, яка включає теорію нечітких множин та аналіз ієрархій. При оцінці безпеки техногенних об'єктів, на яку впливає безліч факторів, інформація про різну складову ризику завжди має деяку ступінь невизначеності. Якщо складна система включає різні складові ризику з невизначеними джерелами і значеннями, то це робить процес прийняття рішення занадто суб'єктивним. Елементи ризику можуть бути розділені на різні якісні або лінгвістичні класи: "дуже високий", "високий", "дуже низький", "низький".

У даній роботі для представлення лінгвістичних змінних пропонується використовувати трикутні і трапецеїдальні функції приналежності. Складові ризику  $g(r, i)$  визначаються двома параметрами – ступенем  $r$ , та  $i$  – значимістю.

Чисельне визначення ризику для заданого ступеня та важливості складової ризику виконується дефазифікація з використанням методу центроїда. Далі будується загальний показник складеного ризику, де для визначення матриці пріоритетів (ваг) різних складових ризику використовується метод аналізу ієрархій.

У праці [62] проведений аналіз сучасних методів оцінки екологічного ризику техногенно навантажених регіонів для вибору оптимального підходу для повної і

скринінгової оцінки техногенного навантаження на довкілля та вибір пріоритетних підходів до еколого-економічної оцінки техногенного впливу.

В якості кількісного показника автор використовує показник, який одночасно враховує дві характеристики несприятливої події – ймовірність її настання та величину завданого нею збитку. Математична модель екологічного ризику, яка описується за допомогою економічного механізму, в загальному вигляді подана як (формула 1.2)

$$EcoRisk = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^q P_{ij}(R) \cdot E_{ij} \quad (1.2)$$

де *EcoRisk* – екологічний ризик, обумовлений техногенним впливом, грн/год; *n* – кількість потенційних техногенних факторів; *m* – кількість зон екологічного ризику; *q* – ступінь порушеності екосистеми або ступінь погіршення показників здоров'я населення у техногенно навантаженому регіоні; *P(R)* – потенційний ризик виникнення екологічної небезпеки унаслідок техногенного впливу для реципієнта *R*; *E* – еколого-економічний збиток, грн.

Оцінка екологічної небезпеки у роботі [63] проведена наступними етапами: – систематизація вхідної інформації в межах окремих блоків; – виконання розрахунків коефіцієнтів, які характеризують умови екологічної небезпеки регіонів за окремими блоками або їх сукупністю.

Узагальнена структурна схема оцінки екологічної небезпеки включала:

1. Систематизація первинної інформації *i*-го рівня для оцінки інтегральної небезпеки в межах окремого блоку.
2. Нормалізація даних, тобто перехід від абсолютних значень показників до відносних.
3. Розрахунок вагових значень. Вага внеску розрахована методом головних компонент, який перетворює *i*-ий обраний простір у *i*-ту просторову складову компоненту.

Побудова моделі головних компонент здійснюється за допомогою пакету SPSS у декілька етапів, котрі включають побудову матриці розрахунків,

виокремлення головних компонент і розрахунок факторних навантажень (факторний аналіз), ідентифікацію головних компонент.

4. Розрахунок інтегрального показника екологічної небезпеки окремого блоку  $A_{ij}$ , з урахуванням вагових коефіцієнтів кожного із показників, що входять у блок, формула 1.3:

$$A_{ij} = \frac{\sum_{n} b_{ij} \cdot x_{ij}}{z}, \quad (1.3)$$

де  $b_{ij}$  – відповідний ваговий коефіцієнт;  $x_{ij}$  – нормоване значення показника  $i$ -го регіону  $j$ -го блоку;  $z$  – кількість показників у  $j$ -му блоці,  $n$  – кількість регіонів.

У працях [64-67] просторово-часова ймовірність прояву природної складової ЕГП залежить від:

- просторової ураженості території  $K_{пр}$  ЕГП (% сумарної площі  $f_{пр}$  проявів у межах площі оцінки  $S$ );

- часової динаміки розвитку  $K_{час}$  – частоти активізації цих процесів за певний проміжок часу  $T$  (років), головним чином внаслідок впливу швидкозмінних (аномальних) гідрометеорологічних факторів (активізація відбувається з середньою частотою 1 раз від 3-4 до 11-30 років).

Тоді річна ймовірність  $K_{НЕГП}$  є добутком просторової та часової складових. Техногенну складову необхідно враховувати з ефектом стабілізації захисних систем та споруд  $K_з$ .

Для оцінки ризиків у межах населених пунктів необхідно враховувати як рівень поширеності ЕГП так і кількості населення. Тому для сільських населених пунктів, де розвиток ЕГП наближений до техногеннообумовлених чинників, за умов практично відсутніх систем інженерного захисту чи попередження), загальний ризик життєдіяльності і господарювання  $R_{СНП,заг}$  розраховуватиметься за формулою 1.4:

$$R_{СНП,заг} = d_{СНП} \cdot K_{НЕГП}, \quad (1.4)$$

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 буде рівний (формула 1.5):

$$R_{\text{СНП, інд}} \approx d_{\text{СНП}} \cdot K_{\text{НЕГП}} \cdot (\Sigma f_{\text{СНП}}) \approx D_{\text{СНП}} \cdot K_{\text{НЕГП}}. \quad (1.5)$$

У межах великих промислових урбоагломерційних об'єктів слід урахувувати фактор захисних інженерних споруд (формули 1.6, 1.7):

без захисних мереж

$$K_{\text{НЕГП(ПМА)}} = K_{\text{НЕГП}} \cdot K_{\text{ТА}}, \quad (1.6)$$

за наявності інженерного захисту

$$K_{\text{НЕГП(ПМА)}} = K_{\text{НЕГП}} \cdot K_{\text{ТА}} / K_3, \quad (1.7)$$

де  $K_{\text{ТА}}$  – коефіцієнт техногенної активізації локально-розвинутих ЕГП за рахунок впливу техногенних чинників промислово-міських агломерацій.

Дослідження [68] 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 [68] вперше запропоновані різні підходи до оцінки небезпеки на основі їх аналізу. Це дозволило запропонувати системні і ефективні стратегії управління для зниження економічних і соціальних втрат від зсувів.

Запропоновані методики розрахунку ризиків від проявів небезпечних екзогенних геологічних процесів дозволяють ґрунтовно підійти до необхідності їх еколого-геологічної оцінки.

Еколого-геологічна оцінка ризиків дозволить ширше досягнути важливості та проблемність теми дослідження негативного впливу природно обумовлених, так і техногенних складових процесів розвитку й активізації екзогенних геологічних процесів, як складової екологічної безпеки регіону та держави у цілому.

### **Висновки до розділу 1.**

Методологія аналізу ЕГП, що наведена в даному розділі, дає передумови для дослідження її факторних ознак.

На сьогодні не існує єдино сформованої системи роздільного аналізу ЕГП від впливу природно- чи техногенно-обумовлених чинників, які сприяють їх активізації.

Серед недоліків існуючих методів аналізу та оцінки ризиків від проявів небезпечних ЕГП є: залучення до математичного блоку обмеженої кількості чинників, які не представляють повну сукупність процесів, що ініціюють розвиток зсувів, карсту та селів; оцінка ризиків безпеки в умовних одиницях; відсутність досліджень та виявлення закономірностей на рівні законів розподілу і ймовірностей для окремих факторних характеристик в їх зв'язку з ЕГП; відсутність чіткого обґрунтування на кількісному рівні задіяних в аналітичній моделі природних та техногенних чинників.

Оцінка ризиків, як основна характеристика небезпечної дії ЕГП при розрахунках зводиться до простого співставлення аналізованих чинників. Це найбільший недолік сучасних методик, адже для цього варто залучати як інтегральні ризики від дії факторної характеристики, а й складові площі, щільності населення і т.д.

Можна стверджувати, що існуючі методики прогнозування безпеки проявів ЕГП не повною мірою відповідають сучасним вимогам по управлінню природним середовищем, оскільки враховують тільки одну складову – природну. Для того, щоби виконати ґрунтовні дослідження техногенної та природної складових, необхідно: провести аналіз факторів активізації ЕГП та виділити з них природну та техногенну складову; обґрунтувати вибір факторів утворення ЕГП та визначити закономірності їх розподілу з метою попередження їх негативного впливу на навколишнє середовище; розробити методологію оцінок еколого-геологічних ризиків із використанням статистичного аналізу даних з використанням ГІС; побудувати карти оцінки еколого-геологічних ризиків просторового розвитку ЕГП.



## РОЗДІЛ 2

### ОСОБЛИВОСТІ ПОШИРЕННЯ ТА АНАЛІЗ РОЗВИТКУ ЕКЗОГЕННИХ ГЕОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ

Небезпечні екзогенні геологічні процеси такі, як зсуви, селі, карст в основному залежать від метеорологічних умов. В останні роки метеорологічні умови не сприяли їх значному розвитку і активізації. Це підтверджують дані моніторингу небезпечних екзогенних геологічних процесів Державної служби геології та надр України, що відображено в Національних доповідях про стан природної та техногенної безпеки [1-10]. Серед українських вчених, які описали та проаналізовані основні теоретичні підходи до вивчення ЕГП варто виділити, Адаменка О. М., Рудька Г. І., Гошовського С. В., Демчишина М. Г., Кузьменка Е. Д. та ін. [70-79].

Для дослідження факторів, які активізують ЕГП виберемо у межах Карпатського регіону територію де їх розвиток та представлення є одним із найвищих, а саме в Івано-Франківській області. Для обраної території було побудовано відповідні карти факторних характеристик, детальний аналіз яких буде представлено в наступному розділі (Додатки А-Т).

#### **2.1. Фізико-географічна характеристика**

Згідно з даними Екологічного паспорту Івано-Франківська область розташована між 47°30' південної широти і 23°31' східної довготи.

Площа Івано-Франківської області становить 13,9 тис. км<sup>2</sup>, чисельність населення – 1 382,553 тис. осіб.

У геологічні будові область на північному сході представлена Східноєвропейською платформою, та на південному заході межує з Карпатською гірськоскладчастою областю.

За характером рельєфу поділяють на три частини. На півночі – Подільська височина. Уздовж р. Дністер Передкарпатське низькогір'я. Близько половини

території займають Українські Карпати, які річковою мережею розділені на гірські масиви і пасма. На південному-сході це Бескиди, Горгани, Покутсько-Буковинські Карпати, півдні– Гринявські і Чивчинські гори та Чорногірський масив з абсолютною відміткою Українських Карпат у 2061 м.н.р.м. (г. Говерла).

Клімат області континентальний з вертикальною біокліматичною поясністю, що є для нього характерним. Він може коливатися від теплого вологого Західно-Європейського до континентального Східно-Європейського. Середня кількість днів на рік із опадами становить 130-188 днів; середньорічна кількість опадів коливається від 550-700 до 1000-1400 мм; температура липня сягає +17 °С, +18 °С, а січня – 4 °С, -5 °С.

На території області проходить Головний Європейський вододіл рік басейну Чорного моря. Висока вологість області характеризує густу річкову мережу, яка становить 0,71-1,5 км/км<sup>2</sup>. Переважна більшість рік належить до басейну Дністра (Свіча, Лімниця, Бистриця Слотвинська і Бистриця Надвірнянська). У південно-східній частині протікають Прут і Черемош, які впадають в Дунай. Ріки характеризуються гірськими і напівгірськими гідрогеологічними умовами, а їх кількість становить близько 8 тисяч.

## **2.2. Загальна характеристика екзогенних геологічних процесів**

### **2.2.1. Зсуви**

*Зсуви* – це зміщення мас гірських порід вниз по схилу під впливом сили тяжіння.

Під час вивчення зсувів виділяють: 1) поверхню ковзання; 2) підшову зсуву (базис сповзання); 3) глибину сповзання (глибину охоплення схилу зсувом); 4) зсувні цирки; 5) зсувне тіло; 6) зсувні накопичення.

На рисунку 2.1 представлена модель основних структурних елементів зсуву, а на рисунку 2.2 – характеристика у межах окремо взятого зсуву.

Павлов О.П., Саваренський Ф.П., Попов І.В., Приклонський В.О., Дранніков О.М. та ін. є основоположниками у класифікації зсувів.

Їх можна розділити на [80]:

- 1) окремі, де враховуються одна-дві ознаки;
- 2) загальні, складені з урахуванням ряду узагальнюючих ознак;
- 3) регіональні, розроблені для окремих районів, які враховують місцеві умови їх виникнення і розвитку.

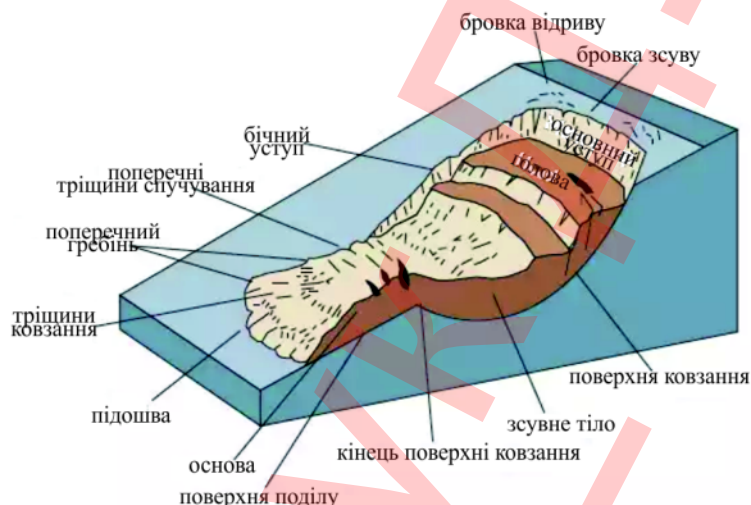


Рис. 2.1. Схема опису основних елементів зсуву

Саваренский Ф.П. вважає, що найважливішою характеристикою зсуву є положення його поверхні стосовно нашарувань, що складають схил. Тому він розділив усі типи зсуву на три групи: асеквентні, консеквентні та інсеквентні [81].

Асеквентні зсуви утворюються в однорідних, нешаруватих породах. Асеквентні зсуви по більшій частині можуть бути віднесені до деляпсивних і виникають унаслідок зміни структурних зв'язків і сил зчеплення в породі, що складає схил.

Консеквентні зсуви завжди рухаються по поверхні контакту між прошарками і можуть виникати в шаруватих схилах по поверхні нашарування, або по вже утворених тріщинах, а також можуть виявлятися при втраті стійкості в делювії. У таких випадках поверхня ковзання є поверхнею контакту між делювіальним плащем і корінними породами. Консеквентні зсуви можуть бути деляпсивними або детрузивними.

Інсеквентні зсуви характерні тим, що поверхня сповзання ріже поверхні нашарування. [80].

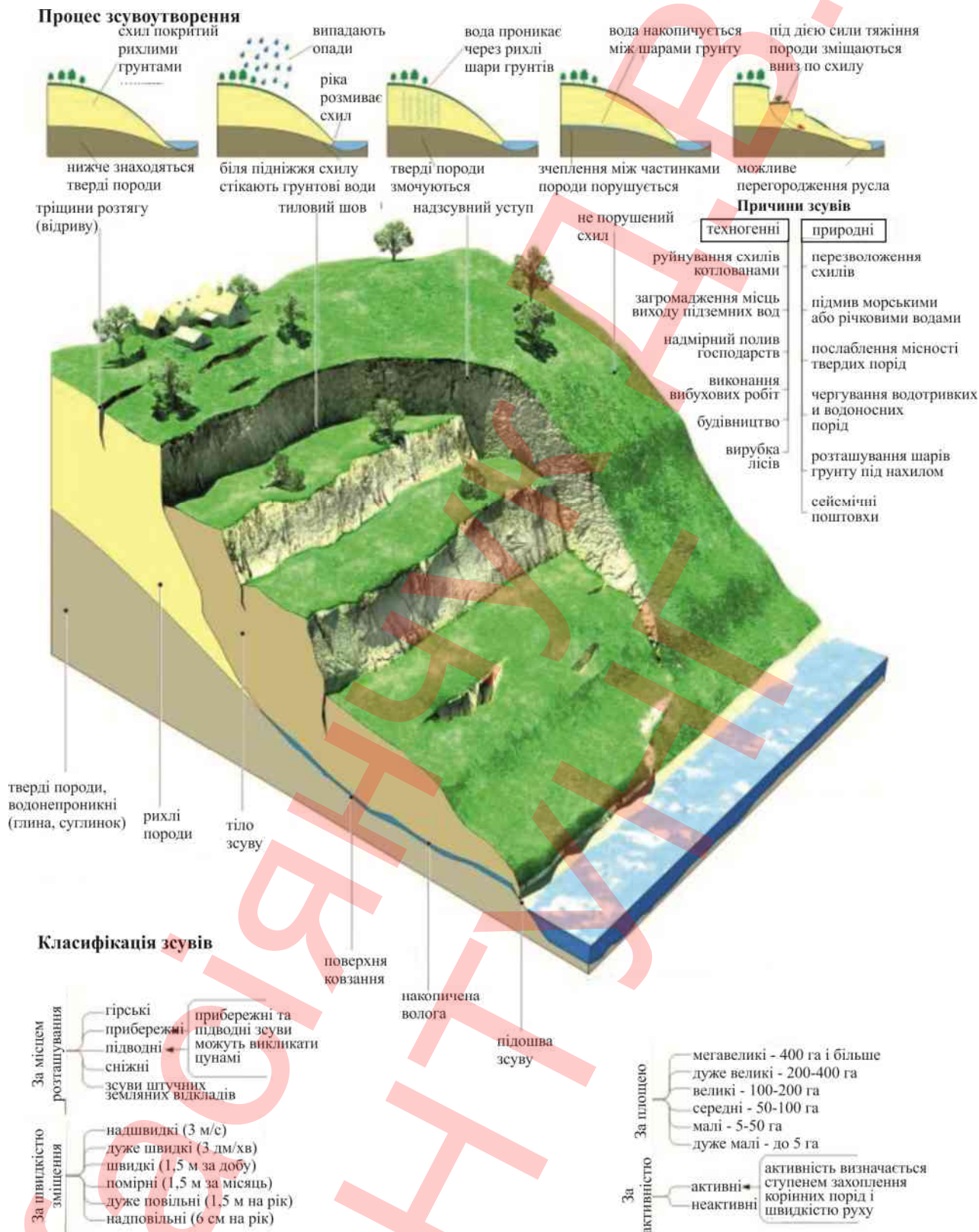


Рис. 2.2. Зсув (модель аналізу дослідження в Барнаулі [82])

Родіонов Н.Н., вивчаючи причини порушення стійкості схилів, сформував класифікацію зсувів на їх генетичних особливостях. Він виділяв три основних типи зсувів (консистентні, суфозійні, структурні) і чотири проміжних типи (суфозійно-

консистентні, консистентно-структурні, суффозійно-структурні і консистентно-суффозійно-структурні).

Попов І.В. [83,84] ілюструє цю класифікацію графічною схемою (рис. 2.3), що пояснює взаємні зв'язки між основними і проміжними типами зсувів.



Рис. 2.3. Класифікація зсувів (за [83])

Ще однією важливою характеристикою, за якою Попов І.В. розрізняє зсуви є конфігурація і розташування його поверхні ковзання. Він поділяє всі зсуви на дві основні групи: деляпсивні (що сповзають) і детрузивні (що штовхають).

Деляпсивні починаються в нижній частині схилу (наприклад, унаслідок підмиву його рікою, озером або морем, а також при штучній підрізці схилу), а потім поступово поширюються нагору по схилу, викликаючи послідовне зсковзання нових його частин.

Детрузивні зсуви спочатку виникають у верхній частині схилу, наприклад, унаслідок збільшення тиску й утворення тріщини відколу. Масив, що відірвався і рухається униз штовхає перед собою породи, розташовані нижче по схилу. Для детрузивних зсувів характерні дві особливості: – подошва зсуву і нижньої частини поверхні зсування, як правило, проходить нижче подошви схилу; – перед подошвою зсуву утворюється вал випирання різноманітної висоти і ширини. Висота валу випирання доходить до 10 м і більш. В окремих випадках зсування може бути деляпсивно-детрузивного типу, коли верхня частина зсуву має деляпсивний характер, а нижня – детрузивний [85].

У відповідності до наведених класифікацій, карпатські зсуви є – деляпсивно-детрузивними.

### 2.2.2. Селі

Сель – раптово сформований, унаслідок різкого підйому води в руслах гірських річок, грязьовий потік; паводки, які відбуваються на гірських річках і тимчасових водотоках, що несуть багато твердого уламкового матеріалу (глиб, щебеню, валунів, гальки, піску) та глинистого дрібнозему (рис. 2.4). Селі відносять до гравітаційних процесів, вони є одним із типів зсуві, які виділили в окремий об'єкт. Як і всякі паводки вони, як правило, короточасні або проходять з великими і порівняно великими швидкостями за декілька годин.

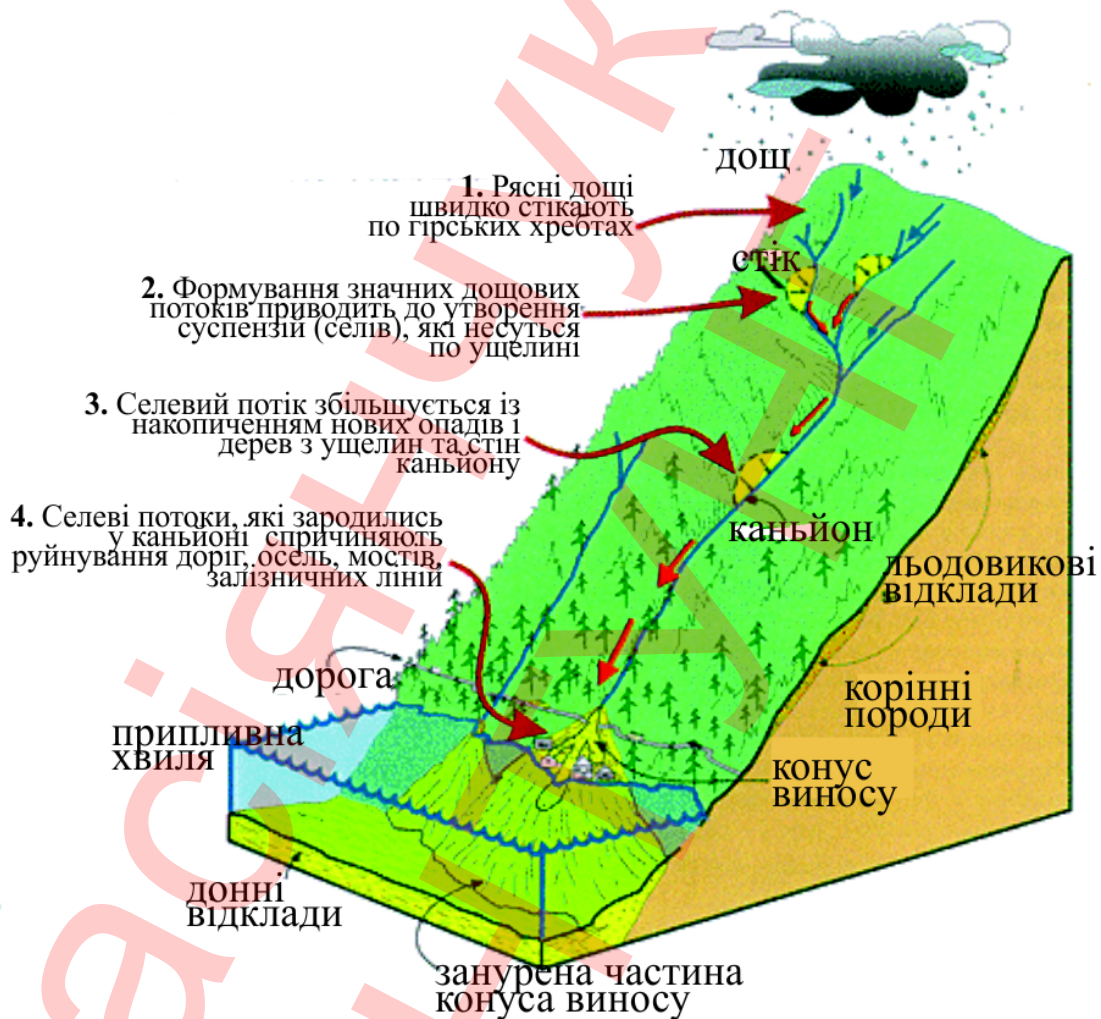


Рис. 2.4. Селевий потік (модель за Джозефом Оконелом та Джеймі Фліпплейсоном)

Сель, як і кожний паводок, пов'язаний з утворенням інтенсивного стоку поверхневих (дощових і талих) вод, які розмивають, змивають і переносять пухкий розсипчастий матеріал, що накопичується у водозбірному басейні гірської річки,

тимчасового водотоку чи в будь-якій їх частині. Кліматичні і часто мікрокліматичні умови водного живлення річок визначають інтенсивність стоку поверхневих вод, тобто гідрогеологічних умов. Це - перший найважливіший чинник формування селевих паводків.

Велика жива руйнівна сила селів виникає під впливом гравітаційних сил, які обумовлюють переміщення великих водокам'яних мас з великими швидкостями. Дія цих сил характеризує енергію рельєфу і пропорційна перевищенню водозбірного басейну над базисом ерозії та величині схилів поверхні його рельєфу. Тобто, геоморфологічні умови є другим обов'язковим чинником формування селів.

Важливою умовою, що визначає формування селевих паводків, є накопичення рихлого уламкового матеріалу в межах водозбірного басейну чи в якійсь його частині, яка доступна для змиву та розмиву поверхневими річковими, дощовими і талими водами. Цей матеріал може бути самим різноманітним по походженню: колюв'яльним, делювіальним, алювіальним, льодовиковим і воднольодовиковим. За своїм складом він може бути різнорідним і складатися із різних за розміром глиб, уламків, валунів, гальки, щебеню, піску, супісєй і суглинків.

Селі класифікують [86]:

За гранулометричним складом уламкового матеріалу розрізняють: грязьові (частинки 2 мм менше 10%), грязе-кам'яні (галька і валуни менше 10%), галькові (галька і валуни понад 10%, але валунів менше 10%), валунні (валуни і брили понад 10%).

Залежно від висоти селевих потоків, басейни поділяються на високогірні (2,5 км і більше), середньогірні (1,0-2,5 км) та низькогірні (до 1 км).

За селеактивністю басейни поділяються на три групи:

I – сильноселеносні, що вирізняються інтенсивним створенням та наявністю рихлих уламків; їх селева здатність дорівнює 15-35 тис. м<sup>3</sup> виносів з 1км<sup>2</sup> активної площі за один сель;

II – середньоселеносні, що вирізняються інтенсивними процесами вивітрювання і ерозії; їх селева здатність значно нижча і має величину в межах 5-15 тис. м<sup>3</sup>;

III – слабоселеносні, що мають менш інтенсивне вивітрювання і недорозвинену гідрографічну сітку з деякою деформацією русла та схилів; їх селева здатність становить до 5 тис. м<sup>2</sup>.

Селі можуть текти в турбулентному і ламінарному режимі, швидкість руху від 2 до 10-15 м/с. Тривалість проходження 1-3 год. Густина потоків 1,1-2,0 т/м<sup>3</sup>.

За потужністю (об'ємом) селі можуть бути катастрофічні, потужні, середньої та малої потужності. Катастрофічні характеризуються виносом матеріалу понад 1 млн м<sup>3</sup> і спостерігаються, як правило, на земній кулі один раз у 30-50 років. Потужні виносять матеріал об'ємом 100 тис. м<sup>3</sup> і виникають рідко. При селях малої потужності виноситься матеріалу близько 10 тис. м<sup>3</sup>, і виникають такі селі щорічно, іноді декілька разів на рік.

Виходячи із вищенаведеної класифікації карпатські селі можна охарактеризувати як середньої потужності грязьові або грязе-кам'яні потоки, що утворюються на середньогірних висотах.

### 2.2.3. Карст

Найчіткіше означення карсту дав Ф.П. Саваренський: “Під карстом розуміють явища, пов'язані з діяльністю підземних вод, що виражається у вилуговуванні розчинних гірських порід (вапняків, доломітів, гіпсів) і утворенні пустот (каналів, печер) у породах, які часто супроводжуються провалами і осіданнями покрівлі і утворенням лійок, озер та інших западин на земній поверхні”. Максимовича М.К. означив його, як одне з найцікавіших проявів екзогенних процесів (рис. 2.5).

Карст проявляється за умов, що:

1) породи, яка відносно легко розчиняється у воді, 2) проникності цієї породи, 3) води, яка рухається у породі і 4) розчинною здатністю води.

За ступенем розчинності можна виділити наступні основні групи порід: а) карбонати (вапняки, доломіти); б) гіпси та ангідриди; в) галоліти (хлористі і сірнокислі солі натрію, калію і магнію). Розчинність порід залежить і від домішок. Розрізняють два види домішок: більш важкорозчинні у порівнянні з даною сіллю та більш легкорозчинні. Перші гальмують процес розчинення внаслідок того, що вони



в процесі самого розчинення вкривають поверхню кристалу колоїдною плівкою, яка перешкоджає розчиненню солі. До таких домішок належать глинисті частки і розсіяні бітумінозні речовини.

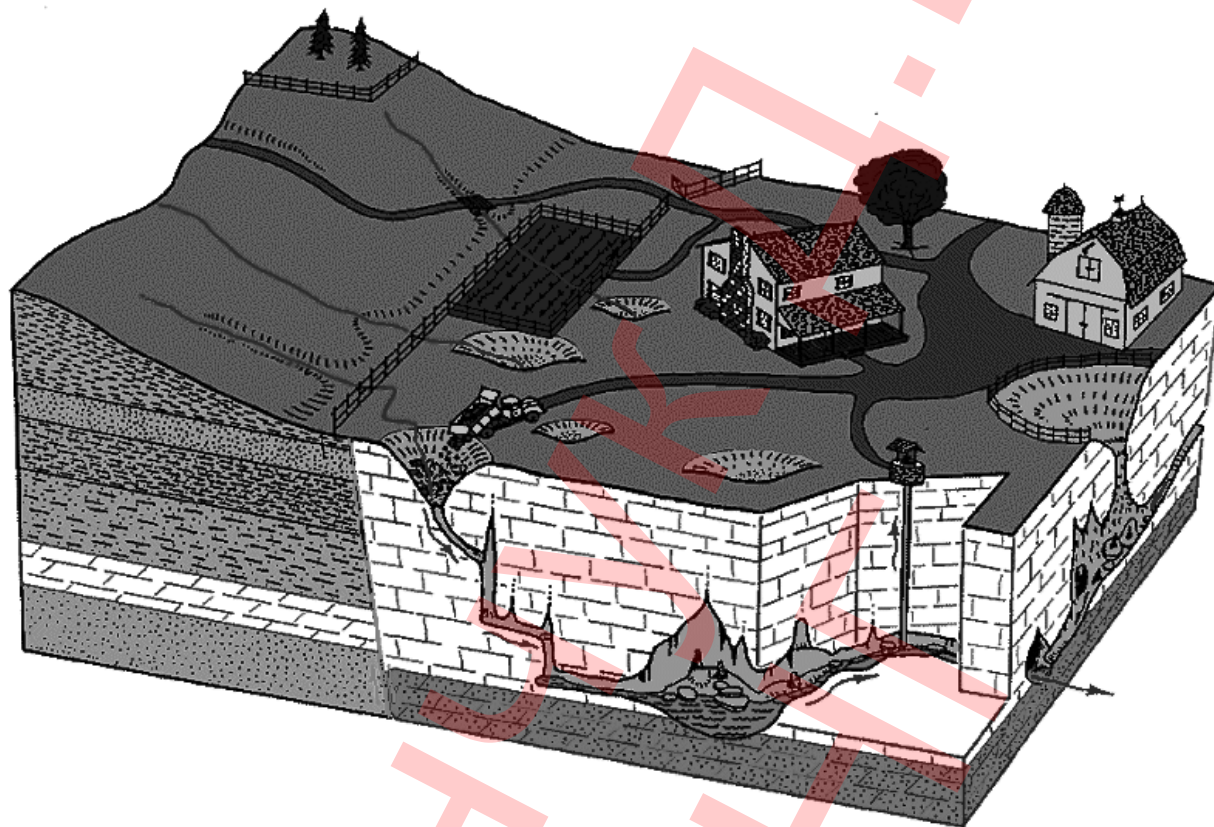


Рис. 2.5. – Карстові процеси (модель за Максимовичом М.К.)

Розчинна здатність води залежить від температури, тиску, наявності в природних водах вуглекислоти, наявності у водних розчинах солей та ін. Вплив температури на розчинність солей у дистильованій воді порівняно невеликий. Причому, розчинність кам'яної солі й кальциту підвищується з ростом температури від 0 до 100<sup>0</sup>С, а ангідриту і гіпсу підвищується лише приблизно до 35<sup>0</sup>, а при більш високих температурах знижується.

Утворення карсту залежить від водопроникності гірських порід. Проникаючи в гірські породи по порах і тріщинах, рухаючись по них, інколи вкрай повільно, вода може розчиняти породи і тим самим збільшувати їх пористість, що в свою чергу призводить до посилення водообміну.

Зв'язок карстових проявів із тріщинуватістю порід підтверджується витягнутістю “ланцюжків” карстових лійок вздовж переважних систем тріщинуватості, приуроченістю карстових печер і порожнин до великих тріщин.

Одна із основних умов розвитку карсту – водообмін. Умови руху підземних вод та інтенсивність водообміну змінюються по вертикалі. В областях з потужними розчинними породами можна виділити чотири вертикальні зони, відмінні одна від одної за умовами руху підземних вод і, відповідно, за умовами розвитку карсту: I – зона аерації, де має місце переважно вертикальна фільтрація, що призводить до формування вертикальних карстових каналів; II – зона сезонного коливання рівнів підземних вод; тут у періоди підйому рівня вода фільтрується в горизонтальному, а в період його спадання – у вертикальному напрямку (розвиваються вертикальні і горизонтальні порожнини в розчинній породі); III – зона повного насичення, яка перебуває у сфері дренального впливу гідрографічної сітки (карст розвивається у дні річкових долин і в берегах); IV – зона глибинної циркуляції, де рух води відбувається поза безпосереднім дренажним впливом гідрографічної сітки і обумовлений тектонічною структурою та окремими осередками розвантаження. Вилуговування порід у цій зоні відбувається повільно. Розчинна здатність підземних вод зменшується з глибиною, тому що з глибиною збільшується насичення води різними сполуками, які інколи перешкоджають розчиненню. З глибиною затухають біохімічні процеси, в результаті дії яких утворюється вуглекислота, що сприяє розчиненню.

За віком карст можна розділити на: а) сучасний, або активний, що розвивається вище від сучасного рівня корозії; б) древній, або пасивний, розвинений нижче сучасного рівня корозії.

Найважливішими особливостями областей розповсюдження закарстованих порід є: 1) інтенсивне поглинання поверхневих вод; 2) підвищена водозбагаченість закарстованих порід; 3) нерівномірна водопроникність; 4) наявність локальних, стійких у часі поздовжніх прирічних депресій рівня підземних вод.

Головними інженерно-геологічними умовами карстових районів є такі:

- 1) осушення ряду карстових областей (проблеми для сільського господарства);
- 2) інтенсивне поповнення підземних вод за рахунок поверхневого стоку;

- 3) природний глибокий дренаж ряду родовищ корисних копалин;
- 4) можливість підвищених витоків води з каналів і водосховищ, як через їх борти і дно, так і в обхід гребель;
- 5) посилене живлення річок за рахунок тріщинно-карстових вод;
- 6) збагачене обводнення тріщинно-карстовими водами будівельних котлованів, тунелів, шахт [80].

Найбільше карст розвинений на заході України та в Криму. Територія західних областей України, особливо її платформова частина та зона зчленування з Передкарпатським прогином, характеризується значним розвитком карстового процесу. Карст інтенсивно розвинутий в Передкарпатському та Закарпатському прогінах. За основу класифікаційної схеми карстового процесу прийнято літологічну різноманітність порід, що карстуються. Схема розвитку карсту Західної України має такий вигляд.

За геоструктурним положенням основної товщі порід, що карстуються в регіоні, виділяються платформовий і гірсько-складчастий класи карсту, що за речовинним складом порід поділяється на карбонатний, сульфатний, галогенний типи карсту. У залежності від літологічних особливостей, підтипи карсту можуть бути: вапняковий, крейдяно-мергелевий, піщано-вапняковий для карбонатних порід; гіпсовий та ангідритовий для сульфатних; калійної і кам'яної солей або змішано соляний для галогенних порід. У кожному підтипу карсту, виходячи з умов залягання товщі, що карстується, у розрізі по відношенню до перекриваючих порід виділяється покритий, напівпокритий, голий і задернований види, а по відношенню до особливостей водонасиченості - рід карсту, що є в зоні аерації та горизонтальної циркуляції підземних вод і в зоні помірного водообміну.

Умови механізму карстоутворення на стадії регіонального вивчення карсту можна представити у вигляді двох основних напрямків: а) розширення первинних пор та каверн з утворенням мікропорожнин у масиві, що карстується; б) проробка тріщинуватості, літогенетичної внутрішньо-пластової тріщинуватості та тектонічної тріщинуватості порід, що карстуються, з утворенням вибіркової порожнинності і

макропорожнинності; в) проробка послаблених зон тектонічних порушень з утворенням зональної вибіркової системи порожнин.

Розвиток карсту за першим типом відбувається, в основному, у монолітних породах у зоні помірного водообміну і приводить до утворення значних за розмірами карстових форм.

При утворенні карсту в зонах тріщинуватості та послаблених зонах відбувається утворення як глибинних (закарстовані тріщини, печерні системи), так і поверхневих (воронки, понори, гроти і ін.) карстових форм. Затухання та стабілізація карстового процесу в залежності від особливостей водонасиченості, положення в рельєфі та інших умов, приводить в одному випадку до кальматації мікро- і макропорожнинності та карстової акумуляції, у другому випадку - до консервації карстових форм.

Карбонатний карст має значне розповсюдження в межах крейдяних та неогенових відкладів південно-західної окраїни Східно-Європейської платформи (понад 11000 км<sup>2</sup>) і виражається у вигляді древніх безстічних понижень, воронок, карстових полів, ярів, понорів та ін. Окремі ознаки активізації карсту зв'язані з гідротехнічним будівництвом, меліоративними роботами, експлуатацією водозаборів, розробкою кар'єрів.

Сульфатний карст має значне розповсюдження в зоні контакту прогину та платформи на площі понад 2,5 тис.км<sup>2</sup>. У зоні повного та часткового прорізання карстуючої товщі водотоком інтенсивно розвивається природний карст. При техногенній зміні гідрогеологічних умов та формуванні ділянок агресивного руху підземних вод від зон живлення до зон розвантаження відбувається розмив існуючих та заповнених глиною порожнин з катастрофічним утворенням техногенно обумовлених воронок (до 100 воронок/км<sup>2</sup>).

Соляний карст має широкий розвиток у Закарпатському та Передкарпатському прогінах і пов'язаний із соляними відкладами міоцену. При природному розвитку карстопроявлення представлені блюдцеподібними пониженнями, при техногенній активізації - воронками, понорами, нішами, просадками над шахтними полями.

Розуміння чіткої класифікаційно-поведінкової структури ЕГП дає нам підстави до кращого розуміння фізичного змісту процесу, а отже його причинно-наслідкового зв'язку, дослідження якого дозволить покращити загальну екологічну безпеку для вибраної території дослідження.

### **2.3. Аналіз проявів екзогенних геологічних процесів у межах території дослідження**

Для аналізу поширеності та проявів ЕГП були використані матеріали доповідей про стан природної та техногенної безпеки [1-10].

#### **2.3.1. Зсувні процеси**

Метеорологічні умови та значний господарський вплив на геологічне середовище, є одними із найбільш взаємозалежних елементів, які в сукупності сприяють процесу зсувоутворення. Про це свідчать дані щорічних доповідей про стан природної та техногенної безпеки. У 2013-2015 роках метеорологічні фактори не сприяли активізації зсувів. Господарська діяльність, через підрізання схилів, проведення активних будівельних та вибухових робіт сприяє активному розвитку зсувів, що обумовлено додатковими навантаження на верхні шари геологічного середовища. На схилах активізація зсувів обумовлена процесами ерозії та абразії. Розвиток у межах населених пунктів зумовлена значною зарегульованістю гідрологічної мережі. На території 200 міст і селищ зафіксовано біля 2,5 тис. зсувонебезпечних ділянок. Станом на 2015 рік загальна кількість зсувів на території України складає близько 13 тисяч одиниць. Їх кількість може варіювати через їх об'єднання чи формування нових зсувів під впливом груп факторів. Загальна площа зсувів становить понад 2 тис. км<sup>2</sup>. В активному стані перебуває близько 1800 одиниць, площею 93,73 км<sup>2</sup>. Зсувами переважно охоплені невеликі площі. Однак, такі зсувні ділянки в подальшому здатні до значних зрушень мас, деформацій та може привести до руйнувань народногосподарських об'єктів. У зонах активної господарської діяльності розвиваються понад 1600 зсувів. Поширення зсувів на території України наведено на рисунку 2.6.

Територія України уражена зсувами повсюдно окрім Волинської та Рівненської, які не мають геологічних та геоморфологічних передумов, як основи процесу розвитку та активізації будь-якого гравітаційного процесу, для їх розвитку. Найактивніше вони розвиваються на узбережжях Чорного та Азовського морів, Одеській, Миколаївській, Черкаській, Харківській, Львівській, Чернівецькій та Закарпатських областях. Великі збитки несуть м. Київ, м. Дніпродзержинськ, м. Дніпропетровськ, м. Запоріжжя, м. Одеса, м. Чернігів, м. Полтава, м. Чернівці та інші, через значну господарську діяльність, яка в сукупності факторів сприяє інтенсивному розвитку зсувів.



Рис. 2.6. Поширення зсувів на території України [10]

Моніторингові дослідження екзогенних геологічних процесів свідчать про значні трансформації переважної більшості схилових ландшафтів. Ці зміни відбуваються під впливом значної кількості природних та техногенних факторів, які в сукупності визначають основні підходи до вивчення зсувних ділянок.

Зарегульованість гідрологічної мережі, інтенсивний розвиток господарського комплексу, відсутність систем та комплексів захисних та зсувопереджувальних споруд і систем попередження сприяють активнішому розвитку зсувів техногенного першопричинного характеру. Дана динаміка характерна і для Карпатського регіону. Порівнюючи дані активізації зсувів 80-х років із сьогоdnішніми, слід відмітити про значне збільшення кількості – на 60%, та площі поширення на 77,9%.

Зсувними процесами здебільшого уражені території:

– Верховинський район: села Буковець, Красноілля, Замагора, Чорна Річка та Перехресне. Ураженість зсувами становить приблизно 50-60% території, що входить до басейні р. Річка. Катастрофічна активізація зсувів розпочалася у 2002 році у с. Буковець. Зсувна ділянка мала розмір 180-250 м, довжина 750 м, а глибина від 1 до 10 м. Об'єм зсуву становив майже 1 млн. м<sup>3</sup>;

– Косівський район – м. Косів та населені пункти в басейні р. Рибниці, р. Люча;

– Коломийський район: села Нижній та Верхній Вербіж, Грушів, Мишин, Рунгури, Тростянка, Печеніжин, Воскресинці, Княздвір. Тут активізація зсувів загрожує діяльності ботанічного заказника “Княздвір”;

– Снятинський район – м. Снятин, с. Новоселиця.

Активізація та розвиток зсувів обумовлений геолого-геоморфологічними, гідрологічними та кліматичними особливостями території, а саме присутністю сприятливих до зсувоутворення піщано-глинистих товщ, значного розчленування рельєфу та сейсмічними коливаннями.

У Карпатському регіоні виділяють наступні схеми-моделі розвитку зсувного процесу.

Структурно-пластичні зсуви. Схили, які складені однорідними породами ведуть до круглоциліндричної форми зміщення зсувних порід. Зім'яті у складки та пологі багат шарові товщі породи Передкарпатського прогину та Карпатської гірсько складчастої області зсувні ділянки розвиваються на поверхні нашаруватих товщ порід і тріщинах, які перерізають схил. Загальний об'єм порід структурно-пластичних зсувів на прикладі території Карпатського регіону складає до 0.1 млн.м<sup>3</sup>.

При цьому швидкість руху зсувного тіла може змінюється від незначних декількох метрів за рік до десятків метрів на добу.

Структурні зсуви утворюються на горизонтально нашаруватих породами схилах. На обраній території для дослідження структурні зсуви спостерігаються на південно-західній окраїні Східноєвропейської платформи. Окрім того, вони поширені на ділянках стику платформи із Передкарпатським прогином. Даним зсувам властиві значні за часом періоди розвитку, незначні швидкості руху мас породи та інтенсивна активна стадія руху до 10-15 м/добу. Об'єми зміщених порід сягають десятків мільйонів кубометрів.

Пластичні зсуви найбільше поширені у товщах делювіальних відкладів. Механізм пластичного зсуву визначається деформацією в'язкопластичного характеру. Об'єм коливається від десятків тисяч до мільйона кубометрів.

### 2.3.2. Карстопрояви

Результати останніх спостережень за карстопровальними процесами на території України вказують на тісний зв'язок між поширеністю порід здатних до картування (близько 37,75% її території) та значною господарською діяльністю. Усе це призвело до значного поширення, що пов'язано не тільки літологічними, а й гідрологічними факторами. Кількість карстопоявів перевищує 24 тисячі одиниць (рисунок 2.7).

Головним чинником розвитку карсту в Карпатському регіоні є змінний рельєф. Горизонтально розміщені осадові породи з різними водотривами сповільнюють рух підземних вод і не сприяють проникненню їх на глибину.

Тріщинуваті та роздроблені породи Карпатської гірсько-складчастої системи полегшують проникненню вод на глибину та інтенсикації корозійного процесу.

Значна поширеність карсту пов'язана із наявністю на усій території крейдяних і вапнякових утворень. Техногенна поширеність пов'язана значною зарегульованістю гідрологічних умов.

Найбільш характерною формою прояву поверхневого карсту для Карпатського регіону є карстові лійки.





Рис. 2.7. Поширення карстопоявів на території України [10]

### 2.3.3. Селі

Розвиток і активізації селевих процесів спостерігається в гірських і передгірських територіях Карпатських і Кримських гір.

Для Карпатського регіону виділяють три селеві басейни, що характеризуються селеативністю. Вони знаходяться на території Закарпатської, Львівської, Івано-Франківської та Чернівецької областей. Загальна кількість селепроявів на території Карпатського регіону становить понад 219 водотоків. Розвиток селів спостерігається у верхів'ях 270 річок (водотоків) площею 1800 км<sup>2</sup> (рис. 2.8).

У регіоні [70] виділяють денудаційний (спричинений вивітрюванням та винесенням продуктів площинним зливом), гравітаційний (зсувні процеси, обвали і осипи), акумуляційний (конуси акумуляції, винесення; делювіальні, пролювіальні та колювіальні шлейфи) механізми активізації селів. Для Карпат характерні водокам'яні та глинистокам'яні селеві потоки. Твердий вміст складає 300-500 кг/м<sup>3</sup> води. Селі розвиваються внаслідок активних опадів, злив інтенсивністю 0.8-

1.3 мм/хв. За об'ємом твердих нагромаджень розподілені – до 25 тис. м<sup>3</sup> (90%), більше 100 тис. м<sup>3</sup> (10%).

Басейни рр. Черемош і Прут є найбільш селективними ділянками Івано-Франківської області. Тут формуються, переважно, водно-кам'яні, грязе-кам'яні селеві потоки. Тверді частки складають уламки відкладів крейди, невеликими вклюдженнями елювіально-делювіальних, делювіально-пролювіальних та алювіальних відкладів.

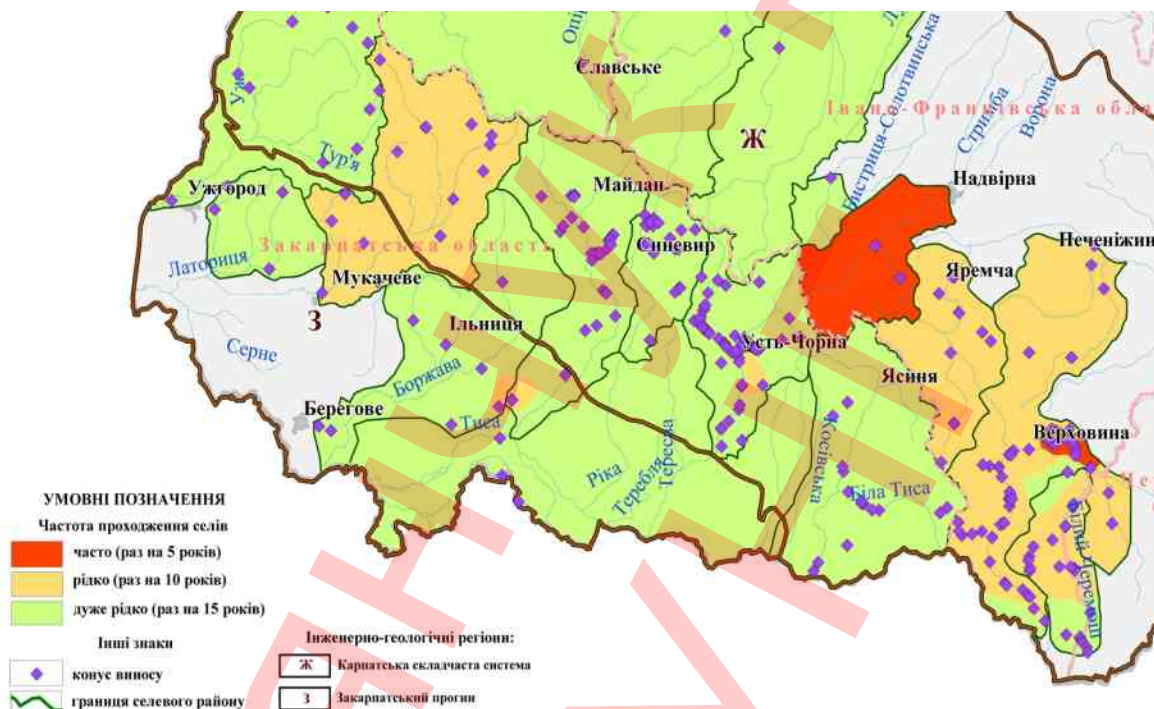


Рис. 2.8. Розвиток селевого процесу в межах регіонів Карпатської складчастої системи та Закарпатського прогину [10]

У літологічному складі, селеві потоки переважно включають аргіліти, алевроліти, пісковики, а також суглинки. Для басейну Білого Черемоша частка найбільшої густоти розчленування рельєфу, зоні Шибенського глибинного розлому, становить близько 5 км/км<sup>2</sup>. На території Львівської області фіксується понад 50 селенебезпечних ділянок площею понад 3000 км<sup>2</sup>. Івано-Франківська область характеризується значною розчленованістю рельєфу, де зареєстровано 270 селів площею 607 км<sup>2</sup>, у Чернівецькій відмічено 70 селепроявів площею 256 км<sup>2</sup>.

Розвиток селів у Карпатському регіоні спричинено локальними і фронтальними типами дощів.

## Висновки до розділу 2.

Вибрана територія характеризується значним поширенням зсувів, селів – гірська та передгірська частина Карпат, і карсту – рівнинна частина.

Основним чинником активізації ЕГП виступає змінний рельєф місцевості. Область характеризується складною геологічною будовою, великою річковою мережею та різними ландшафтами.

Усі ці фактори у поєднанні із густо заселеністю як рівнинних та гірських територій, а також значним промисловим розвитком, у тому числі вирубками лісів, сприяють розвитку ЕГП.

На території України, в межах 200 міст і селищ зафіксовано 2 584 зсувонебезпечні ділянки, а їх загальна кількість складає більше 12 820 тисяч одиниць. Зсуви переважно охоплюють незначні площі, але їх прояви здатні до швидких деформацій та руйнувань об'єктів господарської діяльності. Зокрема, у Івано-Франківській області майже 2 % території вражені зсувними процесами, їх кількість становить понад 805 зсувонебезпечних ділянок, 80 % з яких пов'язані з господарською діяльністю.

Загальна кількість карстопроявів, що поширені в Україні, перевищує 24 тисячі одиниці, які зосереджені на 37,75 % території країни на породах, які здатні карстуватись. Одним з головних факторів розвитку карсту для Карпатського регіону є значне поширення сульфатних і карбонатних відкладів.

Інтенсивний розвиток селевого процесу відмічається у гірських і передгірських областях Карпат і Криму. У Карпатському регіоні нараховуються три селеактивні басейни, де налічується 219 великих селевих водотоків.

Виходячи зі значного поширення та представленості усіх типів ЕГП, була вибрана саме Івано-Франківська область для подальших досліджень впливу груп факторів на процеси активізації та розвитку небезпечних геологічних процесів. Тому проблема та важкість оцінки екологічної безпеки регіону є надзвичайно складною.

## РОЗДІЛ 3

### СКЛАДОВІ ФАКТОРИ РОЗВИТКУ ТА АКТИВІЗАЦІЇ ЕКЗОГЕННИХ ГЕОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ

#### 3.1. Особливості вибору факторів

Однією з основних класифікацій факторів, які використовуються в просторово-часовому прогнозі, є класифікація за Шеко А. І. [30,87].

Проте, основними недоліками існуючих класифікацій є:

- залучення до прогнозу обмеженої кількості факторів, які не представляють повну сукупність природно-техногенних процесів, а особливо не виділяють її природну та техногенну складову, що ініціюють ЕГП;
- відсутність виявлення закономірностей на рівні законів розподілу і ймовірностей для окремих факторів у їх зв'язку з ЕГП;
- окремий просторовий або часовий прогноз (просторово-часовий прогноз тільки декларувався);
- відсутність кількісної оцінки просторово-часового прогнозу на імовірнісному рівні.

Комплекс просторових і часових факторів вибирається з наступних міркувань: забезпечення представництва всіх груп факторів; залежність частоти зустрічі ЕГП від розподілу характеристик факторів. Розподіл факторів підпорядковується одному із статистичних законів розподілу; фактори включають одноразовий значний вплив один на одного, ритми часових факторів узгоджуються з ритмами ЕГП; коефіцієнт значущості (інформативності) факторів в їх просторових і часових розподілах приблизно однаковий; фактори є об'єктивними, відповідають регіональному рівню та є загальнодоступними для користувача. Таким чином здійснюється системний підхід, з частковим урахуванням факторів, зміна яких є короткостроковою, або відповідає локальному рівню вивчення ЕГП і які не є стійкими для характеристики активності ЕГП від ділянки до ділянки (рівень підземних вод для всіх горизонтів, елементи залягання гірських порід), а також специфічних факторів, характерних,

наприклад, для морських берегових ділянок (абразія, характеристика пляжу, азимут берегової лінії, висота берегового виступу).

Вибір кількісних факторних просторових характеристик, тобто кількісних характеристик факторів, здійснюється за наступними критеріями: 1) наявність літературних даних про зв'язок між ЕГП та певною факторною характеристикою; 2) уявлення про можливість такого зв'язку з точки зору фізики явища. Щодо часових характеристик, то вони є однаковими для всіх ЕГП: сонячна активність (характеризується числом Вольфа); річна кількість опадів; середньорічна температура повітря; сейсмічна активність (сумарна річна енергія землетрусів).

Розглянемо детальніше вибір просторових факторів при прогнозуванні ЕГП вітчизняними науковцями, таких як зсуви (таблиця 3.1) [88], карст (таблиця 3.2) [89] та сель (таблиця 3.3) [90].

Таблиця 3.1

### Просторові фактори виникнення ЕГП (на прикладі зсувів)

№ ч/ч	Група факторів	Фактор	Факторна характеристика
1	Літолого-стратиграфічні	Літофаціальний тип гірських порід, що підстилають	Коефіцієнт ураженості літофаціальної зони
2	Інженерно-геологічні	Інженерно-геологічний район	Коефіцієнт ураженості в межах району
3	Геоморфологічні	Базис ерозії	Відстань до базису ерозії
4	Геоморфологічні	Вододіл	Відстань до вододілу
5	Геоморфологічні	Висота	Абсолютна оцінка над рівнем моря
6	Геоморфологічні	Крутість схилу	Кут нахилу денної поверхні
7	Тектонічні	Тектонічні порушення	Відстань до тектонічного розлому
8	Ландшафтні	Рослинність	Відстань до границі лісу
9	Метеорологічні	Опади	Кількість опадів
10	Техногенні	Наявність населених пунктів	Відстань до населеного пункту
11	Техногенні	Наявність доріг	Відстань до дороги, шосе

### Просторові фактори виникнення ЕГП (на прикладі карсту)

№ ч/ч	Група факторів	Фактор	Факторна характеристика
1	Геологічні	Поширення геологічних горизонтів	Коефіцієнт ураженості геологічної світи (горизонту)
2	Геологічні	Літологічний склад четвертинних відкладень	Коефіцієнт ураженості зон з різним літологічним складом четвертинних відкладень
3	Геоморфологічні	Базис ерозії	Відстань до базису ерозії
4	Геоморфологічні	Найближчий поверхневий прояв карсту	Відстань до найближчого карстопрояву
5	Гідрогеологічні	Водопровідність неогенових відкладень	Значення водопровідності неогенових відкладень
6	Гідрогеологічні	Поширення водотривів	Потужність першого від поверхні водотриву
7	Гідрогеологічні	Четвертинний водоносний горизонт	Потужність четвертинного водоносного обрію
8	Гідрогеологічні	Міоценовий водоносний горизонт	Потужність міоценового водоносного обрію
9	Гідрогеологічні	Глибина рівня підземних вод	Глибина залягання рівня міоценового водоносного обрію
10	Тектонічні	Тектонічні порушення	Відстань до тектонічного розлому
11	Геофізичні	Гравітаційне поле	Значення гравітаційного поля в редукції Буге
12	Техногенні	Наявність населених пунктів	Відстань до населеного пункту
13	Техногенні	Наявність ділянок порушення геологічного середовища	Відстань до ділянок порушення геологічного середовища (водозаборів, кар'єрів)

Просторові фактори у зазначених таблицях мають системну повторюваність для різних видів екзогенних геологічних процесів. Якщо розглядати тільки

природну складову екзогенних процесів, із 31 фактору (його кількісного показника) 19 (~61 %) факторів є спільними як для зсувів, селів і карсту, а розглянуті техногенні фактори не володіють інформативністю (за даними цих же авторів), яка би істотно вказувала на їх вплив. Однак 6 факторів представлені тільки для одного виду ЕГП.

Таблиця 3.3

### Просторові фактори виникнення ЕГП (на прикладі селів)

№ ч/ч	Група факторів	Фактор	Факторна характеристика
1	Геолого-тектонічні	Тектонічні порушення	Відстань до тектонічного розлому
2	Геолого-тектонічні	Літофаціальний тип гірських порід, що підстилають	Коефіцієнт ураженості літофаціальної зони
3	Геолого-тектонічні	Тектонічні райони	Коефіцієнт ураженості тектонічної зони
4	Геолого-тектонічні	Зсув	Віддаль до зсуву
5	Геоморфологічні	Базис ерозії	Відстань до базису ерозії
6	Геоморфологічні	Вододіл	Відстань до вододілу
7	Геоморфологічні	Висота	Абсолютна висота селю над рівнем моря
8	Геоморфологічні	Висота	Абсолютна висота вододілу
9	Геоморфологічні	Крутість схилу	Кут нахилу денної поверхні
10	Ландшафтні	Рослинність	Відстань до границі лісу
11	Метеорологічні	Опади	Кількість опадів
12	Техногенні	Наявність населених пунктів	Відстань до населеного пункту
13	Техногенні	Наявність доріг	Відстань до дороги, шосе

Аналізуючи фактори, які використовуються для просторово-часового прогнозу, варто відмітити те, що переважна більшість факторів представляють природну складову ЕГП, тоді як техногенні чинники і досі є малодослідженими. За даними [88–90], у ваговому співвідношенні коефіцієнтів інформативності

факторних ознак техногенна група займає стільки, скільки окремий чинник природної складової, тому саме аналізу останніх і має бути приділена більша увага.

Переважає більшість науковців та організацій [91,92], які займаються дослідженнями екзогенних процесів у світі, причиною активізації гравітаційних процесів називають порушення режиму ґрунтових вод, зменшення рослинного покриву, модифікацію схилів, будівництво доріг, залізниць, будівель тощо, перевантаження схилів, видобуток корисних копалин, вібрацію від інтенсивного руху, вибухові роботи, і т.д., розкопки або переміщення гірських порід.

Вплив кожного із зазначених факторів має приналежність до процесу розвитку техногенних геологічних процесів, однак аналіз ступенів їхнього впливу на процес виникнення ЕГП не здійснювався, а факторна характеристика, як кількісна міра використовувалась та розраховувалась вперше.

Статистичні розподіли деяких факторних характеристик у вигляді гістограм, що представлені нижче, слугують основою подальшого їх аналізу та систематизації (рисунк 3.1, 3.2, 3.3, 3.4).

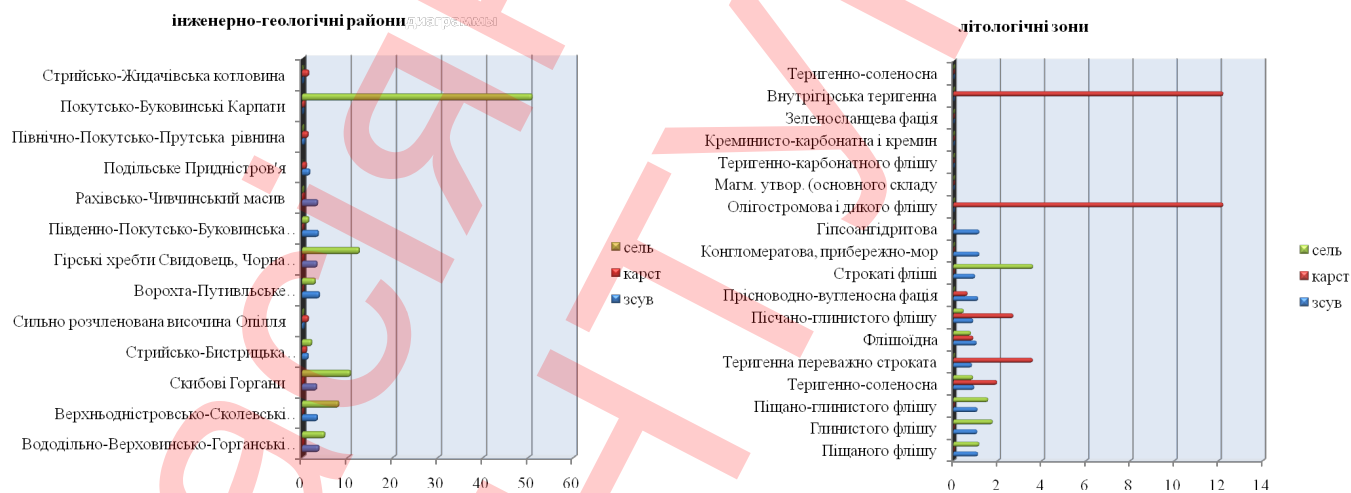


Рис. 3.1. Гістограми ранжирування структурних зон за схильністю до ЕГП (природна складова)





Рис. 3.2. Гістограми ранжирування структурних зон за умовами зміни геологічного середовища (техногенна складова)



Рис. 3.3. Графіки фактичних розподілів факторних характеристик природної складової розвитку зсувів

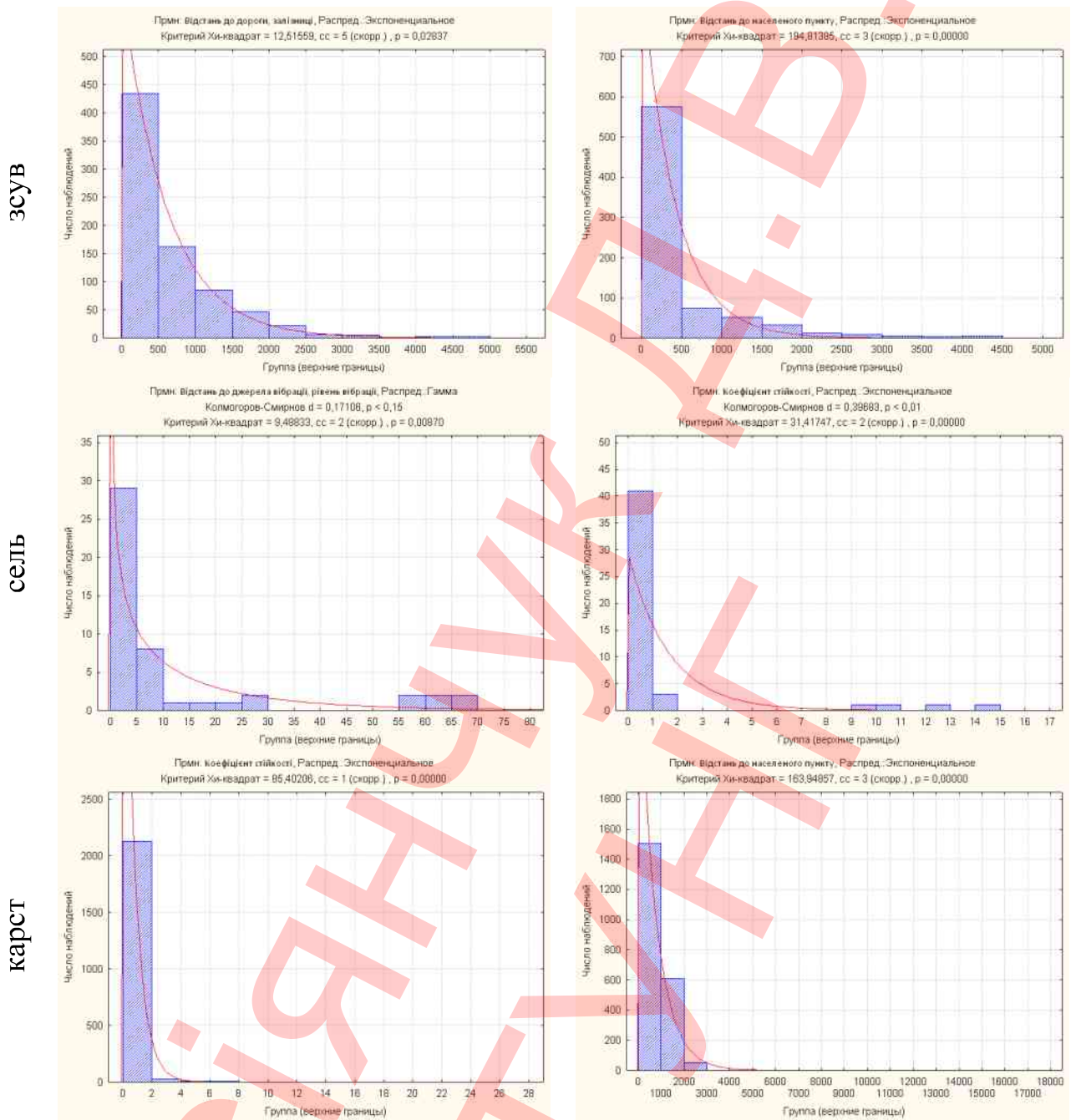


Рис. 3.4. Графіки фактичних розподілів факторних характеристик техногенної складової розвитку ЕГП

За результатами досліджень статистичних розподілів із використанням непараметричного D-критерію Колгморова-Смірнова проведена оцінка імовірних законів розподілу теоретичних даних для кожної факторної характеристики (табл. 3.4, 3.5).

Статистичні розподіли характеризують значну динаміку зміни частот розподілів вихідних даних. Однак імовірні закони розподілу, а особливо ті, які не підпорядковані нормальному або логнормальному, потребують повторної перевірки

та логарифмуванню, що має показати належність розподілу скорегованих даних нормальному, логнормальному закономірному розподілу. Ця перевірка буде проведена для подальшого аналізу, коли їх величини, які зараз виражені у вигляді реальних даних, будуть нормалізовані у безрозмірні коефіцієнти.

Таблиця 3.4

**Імовірні закони розподілу факторних характеристик природної складової розвитку ЕГП**

Факторна характеристика	Закон розподілу типів ЕГП		
	зсув	карст	сель
Відстань до границі лісу	експоненціальний	нормальний	експоненціальний
Кількість (інтенсивність) опадів	нормальний	нормальний	логнормальний
Відстань до тектонічного розлому	експоненціальний	нормальний	експоненціальний
Відстань до базису ерозії	експоненціальний	логнормальний	експоненціальний
Абсолютна оцінка над рівнем моря	нормальний	експоненціальний	нормальний
Кут нахилу денної поверхні	логнормальний	експоненціальний	нормальний
Відстань до найближчого прояву	логнормальний	експоненціальний	експоненціальний
Експозиція схилу	експоненціальний	нормальний	нормальний
Потужність першого від поверхні водотриву	–	нормальний	–
Потужність четвертинного водоносного горизонту	–	нормальний	–
Глибина залягання рівня міоценового водоносного горизонту	нормальний	нормальний	нормальний
Рівень ґрунтових вод	нормальний	експоненціальний	нормальний

Однак не слід забувати те, що кожен вид ЕГП і навіть кожен зсув, карст або сель має свої власні правила (чинники) виникнення й активізації відносно кінематики і впливу тих чи інших факторів. Таким чином, будь-яка структура, яка має на меті комплексно обґрунтувати та привнести ті чи інші фактори, а разом з ними і факторні характеристики, не зможе абсолютно точно описати її динаміку в часі та просторі.

Таблиця 3.5

**Імовірні закони розподілу факторних характеристик техногенної складової розвитку ЕГП**

Факторна характеристика	Закон розподілу для типів ЕГП		
	зсув	карст	сель
Відстань до ділянок порушення геологічного середовища (водозаборів, кар'єрів)	гамма	гамма	нормальний
Відстань до джерела вібрації, рівень вібрації	гамма	експоненціальний	гама
Коефіцієнт стійкості	експоненціальний	експоненціальний	експоненціальний
Відстань до дороги, залізниці	експоненціальний	експоненціальний	експоненціальний
Відстань до населеного пункту	експоненціальний	експоненціальний	експоненціальний

Виходячи з наведених даних, варто запропонувати структуру факторів ЕГП, у якій інформативність їх ознак дає змогу здійснити розподіл природної та техногенної складової розвитку (рисунок 3.5) [11,12].

Важливість розподілу факторів необхідна не тільки для створення точніших прогнозних моделей, а й дозволить краще реагувати чи попереджувати такі надзвичайні ситуації. Роздільний аналіз актуалізує всю наявну методологію, яка використовується на даний час при просторово-часовому прогнозуванні. Це дозволяє нам не тільки обґрунтувати та логічно структурувати факторні

характеристики, а задати підходи до створення нових методологічних умов зі створення моделей екологічних ризиків від впливу як природно так і техногенно обумовлених факторів.

Структура факторів розвитку екзогенних геологічних процесів			
природні		техногенні	
фактор	факторна характеристика	факторна характеристика	фактор
<b>геологічні</b>		<b>геологічні</b>	
Літофаціальний тип гірських порід, що підстиляють	Коефіцієнт ураженості літофаціальної зони, геологічної світи	Відстань до ділянок порушення геологічного середовища (водозаборів, кар'єрів)	Наявність ділянок порушення геологічного середовища
Інженерно-геологічний район	Коефіцієнт ураженості в межах району (в т.ч. іншими ЕГП)	Коефіцієнт ураженості дорожньою мережею та населеними пунктами в межах району	Інженерно-геологічний район
<b>ландшафтні</b>		<b>ландшафтні</b>	
Рослинність	Відстань до границі лісу	Зміна лісових площ	Рослинність
<b>метеорологічні</b>		<b>ландшафтні</b>	
Опади	Кількість (інтенсивність) опадів	Відстань до джерела вібрації, рівень вібрації	Вібрація
<b>тектонічні</b>		<b>механічні</b>	
Тектонічні порушення	Відстань до тектонічного розлому	Зміна кута нахилу	Модифікація схилів
<b>геоморфологічні</b>		<b>геоморфологічні</b>	
Базис ерозії	Відстань до базису ерозії	Коефіцієнт стійкості	Перевантаження схилів
Вододіл	Відстань до вододілу	<b>гідрогеологічні</b>	
Висота	Абсолютна оцінка над рівнем моря	Коефіцієнт порушеності	Порушення режиму ґрунтових вод
Крутість схилу	Кут нахилу денної поверхні	<b>антропогенні</b>	
Найближчий поверхневий прояв ЕГП	Відстань до найближчого прояву	Відстань до дороги, залізниці	Наявність доріг, залізниць
Напрямок схилу	Експозиція схилу	Відстань до населеного пункту	Наявність населених пунктів
<b>гідрогеологічні</b>		<b>антропогенні</b>	
Поширення водотривів	Потужність першого від поверхні водотриву		
Четвертинний водоносний горизонт	Потужність четвертинного водоносного горизонту		
Глибина рівня підземних вод	Глибина залягання рівня міоценового водоносного горизонту		

Рис. 3.5. Структура природних та техногенних факторів розвитку ЕГП

Слід відмітити, що представленість однакових груп факторів у межах природної та техногенної складової екзогенних геологічних процесів тільки підкреслює необхідність розгляду даної проблеми через екологічну складову впливу факторів розвитку та активізації зсувів, селів та карсту на стан навколишнього середовища. Структурування факторів розвитку екзогенних геологічних процесів дозволить краще розуміти природу процесу та першопричини їх прояву. Зокрема, для природної складової – динамічні зміни навколишнього середовища, що мають циклічний характер, техногенної складової – як діяльність людини прямо або опосередковано впливає на розвиток будь-якого небезпечного екзогенного геологічного процесу.

У залежності від конкретних регіональних умов структура факторів може корегуватись, якщо дія фактора однорідна або слабо проявляється в межах досліджуваної території.

### **3.2. Природна складова факторів**

Найбільш досліджуваними факторами розвитку й активізації небезпечних геологічних процесів є природні. Це пояснюється перш за все зрозумілою фізикою процесу як явища через аналіз його складових елементів, які вносять свою складову в той чи інший процес.

Найбільш повно й обґрунтовано факторні характеристики представлені в працях [27,29,34,88,90,93,94]. Розглянемо деякі із них.

*Коефіцієнт ураженості літофаціальної зони, геологічної світи* є одним з найбільш істотних факторів. Розуміння цього фактору полягає в тому, що будь-які рухи мас визначаються геологічними та фаціальними особливостями корінних порід. Тобто, він характеризує міцність порід з урахуванням основних умов утворення ЕГП [95,96].

*Коефіцієнт ураженості в межах району (в т.ч. іншими ЕГП).* Інженерно-геологічне районування є універсальним просторовим елементом, що дозволяє

проводити не тільки оцінку поширеності ЕГП, а й поєднує в собі усі можливі природно-техногенні умови, виділеної спільними особливостями ділянки.

Зокрема в роботі [97] зазначено: «Інженерно-геологічні вишукування повинні забезпечувати комплексне вивчення інженерно-геологічних умов району, включаючи рельєф, геологічну будову, геоморфологічні та гідрогеологічні умови, склад, стан і властивості ґрунтів, геологічні й інженерно-геологічні процеси», за результатами яких вивчають: «Фізико-географічні й техногенні умови – клімат, рельєф, геоморфологія, рослинність, ґрунти, гідрографія, відомості про господарське освоєння та використання території, техногенні навантаження; геологічну будову – стратиграфо-генетичні комплекси, умови залягання ґрунтів, літологічна й петрографічна характеристика виділених шарів ґрунтів по генетичних типах, тектонічна будова та неотектоніка; гідрогеологічні умови – положення рівня підземних вод, поширення, умови залягання, джерела живлення, хімічний склад підземних вод; властивості ґрунтів, характеристика складу, стану, фізичних, механічних і хімічних властивостей виділених типів (шарів) ґрунтів та їхньої просторової мінливості; специфічні ґрунти - наявність і поширення специфічних ґрунтів (багатолітньомерзлих, просадних, що набухають, органомінеральних та органічних, засоленених, елювіальних та техногенних), приуроченість цих ґрунтів до певних форм рельєфу та геоморфологічних елементів, границі поширення, потужність і умови залягання, генезис і особливості формування, характерні форми рельєфу, літологічний і мінеральний склади, стан і специфічні властивості цих ґрунтів; геологічні й інженерно-геологічні процеси – наявність, поширення та контури прояву геологічних й інженерно-геологічних процесів, типізація та приуроченість процесів до певних форм рельєфу, геоморфологічних елементів, типів ґрунтів, гідрогеологічних умов, видів і зон техногенного впливу; особливості розвитку кожного із процесів, причини, фактори й умови розвитку процесів; інженерно-геологічне районування – інженерно-геологічне районування території з обґрунтуванням і характеристикою виділених на інженерно-геологічній карті таксонів (районів, підрайонів, ділянок і т.п.)».

*Відстань до тектонічного розлому.* Даний фактор характеризує в собі ряд структурних елементів, що призводять до його значного впливу. Серед них варто виділити такі групи, як наявність та активізація горизонтальних тектонічних рухів, утворення на їх основі значних тріщин, що сприяють водонасиченості та розущільненості порід, та найголовніше – сейсмічна активність. Зокрема, при наявності землетрусів, які авторами пов'язуються з сонячною активністю [98,99], показаний істотний зв'язок між процесами розвитку та активізації ЕГП та сейсмічною активністю. Наявність зон розломів тільки посилює даний фактор.

Наявність зон тріщинуватості реалізується через два основних фактора [100]:

- 1) зменшення стійкості внаслідок зменшення кута внутрішнього тертя та зчеплення гірських порід;
- 2) утворення водоносних горизонтів і наявність фільтрації підземних вод уздовж схилів.

Щодо впливу на карстопрояви, то тут слід відмітити, що тектонічні розломи сприяють значному рухові вод, як у межах водоносних горизонтів, так і між ними. Така дренажна дія призводить у подальшому до інтенсифікації розчинення пластовими водами гірської карстованої породи.

*Відстань до границі лісу* є одним із найбільш визначальних факторів. Наявність лісового покриву завжди, чи це прямо чи опосередковано здійснює вплив на розвиток ЕГП. Багатьма науковцями розуміння даної факторної характеристики пояснюється перш за все дренажною та поглинаючою дією кореневої системи дерев на ґрунти. Тому вплив лісу може бути як прямим чи опосередкованим, так і позитивним або негативним.

Як вихідний параметр для розрахунків використовувалася відстань від найближчого прояву ЕГП до границі лісу. Це дозволило нам стверджувати, що при наближенні до границі лісу ймовірність виникнення ЕГП зростає.

Щодо розміщення ЕГП у межах лісових масивів, то тут ми не спостерігаємо значної активності, і це насамперед пов'язане із абсорбуючою дією кореневої системи лісу, яка утримує водні маси, за складних кліматичних умов (сильних дощів чи раптової відлиги) та здатністю кореневої системи (особливо глибоко



проростаючих порід дерев) утримувати масиви породи, забираючи при цьому надлишок вологи.

Фактично існуюча тенденція до збільшення кількості ЕГП, зокрема зсувів, із наближенням до границі лісового масиву з теоретичної точки зору пояснюється наступним [100,101]: 1) підвищеною кількістю опадів; 2) переведенням поверхневого стоку в ґрунтовий за рахунок доброї дренажності порід у лісовому масиві; 3) внутрішнім стоком вод (внутрішньогрунтовим і ґрунтовим) уздовж схилу; 4) підвищенням гідродинамічного тиску, спрямованого уздовж фільтраційного потоку та зростаючого в міру зменшення водопроникності порід із віддаленням від лісу.

Однак рубки лісу, які проводяться вглиб, ніяким чином не впливають на активізацію ЕГП. При цьому стік та випаровуваність зростає, на схилах не утримуються значні обсяги води, у тому числі зменшується площинне навантаження, оскільки зменшується тиск на схил.

*Потужність першого від поверхні водотриву.* Наявність даного та нижче зазначених факторів характеризує тільки карстовий процес. На більшій частині території, де активно розвиваються карстові процеси, над розчинними породами поширені глини. Тому очевидно, що зменшення потужності глин буде сприяти інфільтрації поверхневих вод і появі карстового провалу [89] (Додаток Р).

*Потужність четвертинного водоносного горизонту.* За умов зниженої ізопотужності четвертинного водоносного горизонту та наявності порід, здатних до карстоутворення, можлива активна низхідна фільтрація вод із зони аерації (Додаток С).

*Глибина залягання водоносного горизонту.* За умов різної фільтраційної здатності в різних умовах, зміна потужності водоносного горизонту буде призводити до карстоутворення. Максимальна потужність буде характеризуватися меншою швидкістю фільтрації, мінімальна – більшою, тобто сприятливою до карстоутворення [95]. Глибина розрахована як різниця між абсолютними відмітками рельєфу денної поверхні та гідроізогіпсами міоценового водоносного горизонту (середовища карстоутворення) (Додаток Л, М).

Карти ізопотужностей четвертинного і міоценового водоносних горизонтів для досліджуваної ділянки наведено за матеріалами Львівської ГРЕ (звіт «Составление сводных гидрогеодинамических карт масштаба 1:200 000 для территории Львовской, Тернопольской, Ивано-Франковской и Черновицкой областей на 1987-1994 гг», автор Федосеев В.П.).

Описані вище природні складові факторів і відповідних їм факторних характеристик представимо у вигляді таблиці 3.6.

### **3.3. Техногенна складова факторів**

Розглядати техногенну складову факторів слід з аналізу їх відповідних факторних характеристик для кращого розуміння самого процесу розвитку ЕГП в умовах антропогенного навантаження.

*Відстань до ділянок порушення геологічного середовища (водозаборів, кар'єрів),* як факторна характеристика, може бути однією з основних причин катастрофічного розвитку поверхневого карсту внаслідок їхнього негативного впливу на гідрогеологічні умови, зокрема на збільшення швидкості руху підземних вод унаслідок їхньої інтенсивної відкачки, що приводить до прискореного карстоутворення [102].

*Коефіцієнт ураженості дорожньою мережею та населеними пунктами в межах району.* Наявність значної кількості об'єктів, у межах окремих інженерно-геологічних районів, так само як і для факторної природної складової призводить до активізації ЕГП. Це перш за все пов'язано зі зміною рельєфу, складу та властивостей порід, гідрогеологічних умов, створенням динамічних вібрацій, ландшафтними перетвореннями.

*Відстань до джерела вібрації, рівень вібрації.* Динамічні вібрації антропогенного походження (важкий транспорт, вибухові роботи) приводять до водонасичення ґрунтів. Це призводить до критичного зростання тиску води в порах, яке сприяє перетворенню ґрунту в рідку суспензію. Динамічні вібрації, як горизонтально діючі сили, при тривалій дії призводять до формування ландшафтних

укосів, що вносить подальший негативний елемент до усієї схеми стабільності схилу або рівнинної ділянки.

Таблиця 3.6

### Фактори активізації ЕГП (природна складова)

Група чинників	Фактор	Характеристика його дії на процес	Факторна характеристика
Геологічні	Літофаціальний тип гірських порід, що підстилають	Визначає здатність гірських порід утримуватися між собою	Коефіцієнт ураженості літофаціальної зони, геологічної свити
	Інженерно-геологічний район	Характеризує: – клімат і ґрунти; – характер рельєфу; – геологічну структуру; – характер порід; – гідрогеологічні умови; – сучасні фізико-геологічні процеси	Коефіцієнт ураженості в межах району (в т.ч. іншими ЕГП)
Метеорологічні	Опади	Характеризує здатність ґрунтів до зволоження	Кількість (інтенсивність) опадів
Тектонічні	Тектонічні порушення	Визначають ерозійну активність, рівень підземних вод і енергію рельєфу	Відстань до тектонічного розлому
Геоморфологічні	Базис ерозії	Характеризує зміну гідродинамічного тиску	Відстань до базису ерозії
	Висота	Визначає тип і склад гірських порід, визначає мікрогеоклімату	Абсолютна оцінка над рівнем моря
	Крутість схилу	Визначає напружений стан схилу	Кут нахилу денної поверхні
	Найближчий поверхневий прояв ЕГП	Потенційне джерело зростання напруженості схилу	Відстань до найближчого прояву
	Вододіл	Визначає гідрологічні умови стоку	Відстань до вододілу
	Напрямок схилу		Експозиція схилу
Гідрогеологічні (тільки для карстопроявів)	Поширення водоупорів	– визначає характер фільтрації	Потужність першого від поверхні водоупора
	Четвертинний водоносний		Потужність четвертинного

	горизонт		водоносного горизонту
	Глибина рівня підземних вод		Глибина залягання міоценового водоносного горизонту

Частки напружуються під діючими силами і тертя зменшується на поверхні укосів, що і призводить до розвитку ЕГП (рисунок 3.6) [103].

У роботі [117] зазначається, що “Ураженість геологічного середовища техногенними динамічними навантаженнями пов’язана з поняттям вібраційної небезпеки, під якою розуміють такий стан геологічного середовища, за якого під впливом техногенних вібрацій перебувають на стадії активізації або стають потенційно активними окремі негативні геологічні процеси, що становить загрозу життю людей...”.

На основі карти доріг області та даних [118,120] побудована карта основних транспортних вібраційних навантажень (Додаток Н).

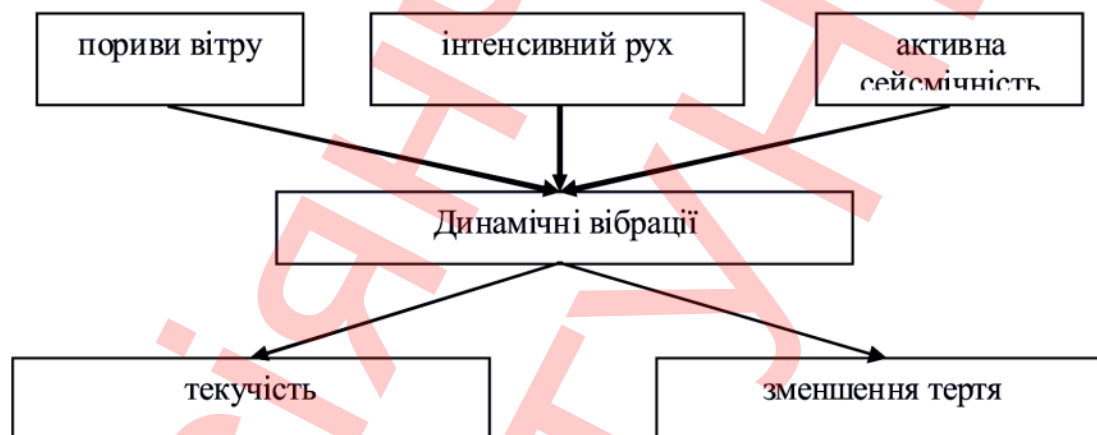


Рис. 3.6. Схема впливу динамічних вібрації на процес розвитку ЕГП

*Зміна кута нахилу.* Схили, які піддалися модифікаціям, схильні до значних змін, під дією на схил нових переважаючих від попередніх, переважно гравітаційних сил. Негативні впливи, після змін її кута нахилу, також доводить погіршення структурних властивостей ґрунтів і прискорення процесів ерозії (рисунок 3.7) [27,103,118,119]. Погіршення властивостей ґрунтів, формування нового нахилу веде до появи нових бічних розколів на схилі, що свідчить про послаблення схилу і можливе руйнування, адже схил завжди прагне до виположення. Утворені пори накопичують воду, що приводить до їх промерзання взимку та сповзання.

Зміна кута нахилу розраховувалась, як різницю значення зміни кута нахилу між найвищою та найнижчою абсолютною висотою досліджуваного об'єкту з урахуванням зміни нахилу адміністративно-господарських споруд в зоні розвитку ЕГП.

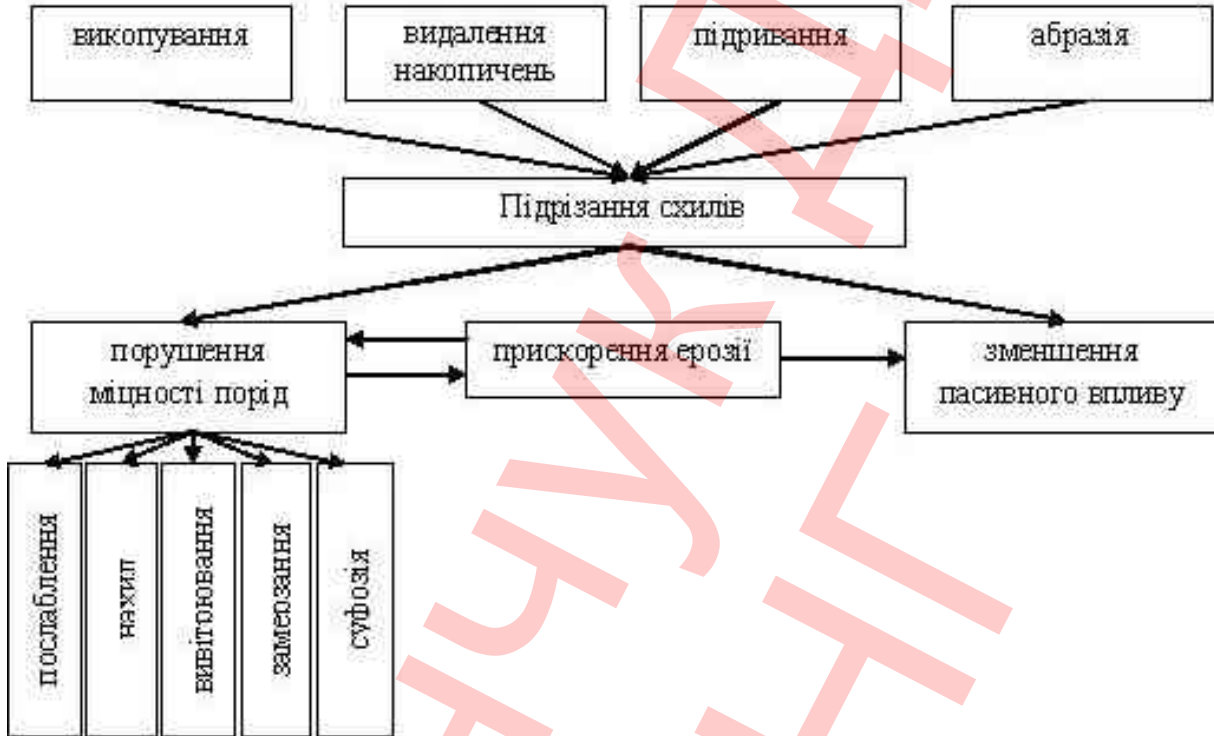


Рис. 3.7. Схема впливу підрізання схилів на процес розвитку ЕГП

*Коефіцієнт стійкості.* Штучне навантаження поверхні має два головні негативні наслідки (рисунок 3.8) [27,28,103,118,119]. При першому йде зростання активних сил, перш за все сили тяжіння, що підсилене вагою нагромаджень, до або після того, як небажані зміни схилового вантаження викликають зміни в режимі ґрунтових вод.

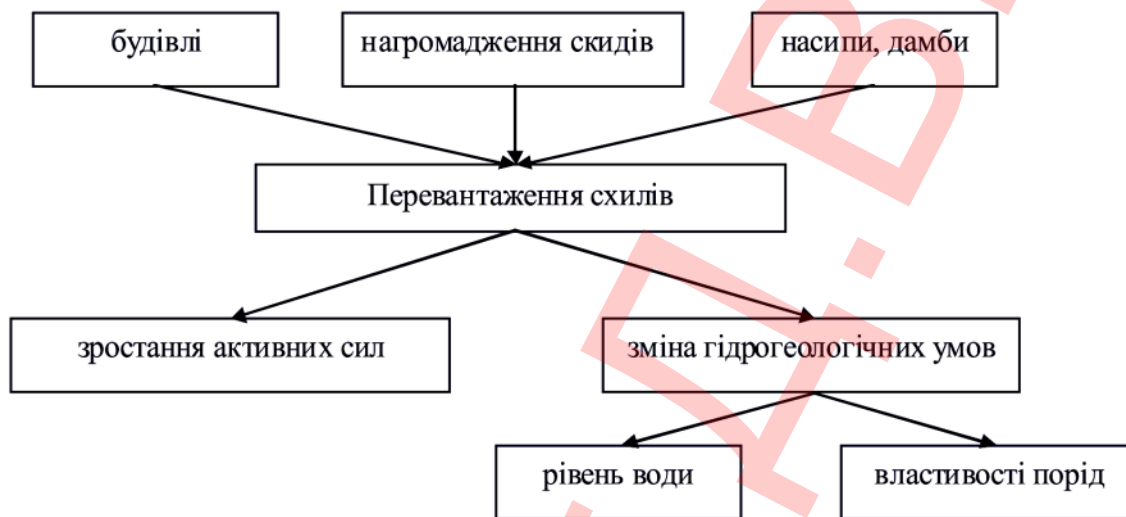


Рис.3.8. Схема впливу схилового навантаження на процес розвитку ЕГП

*Коефіцієнт порушеності.* Зміни в режимі ґрунтових вод призводять до зміни стабільності та властивостей ґрунтів (породи), формування схилу (рисунок 3.9) [103].

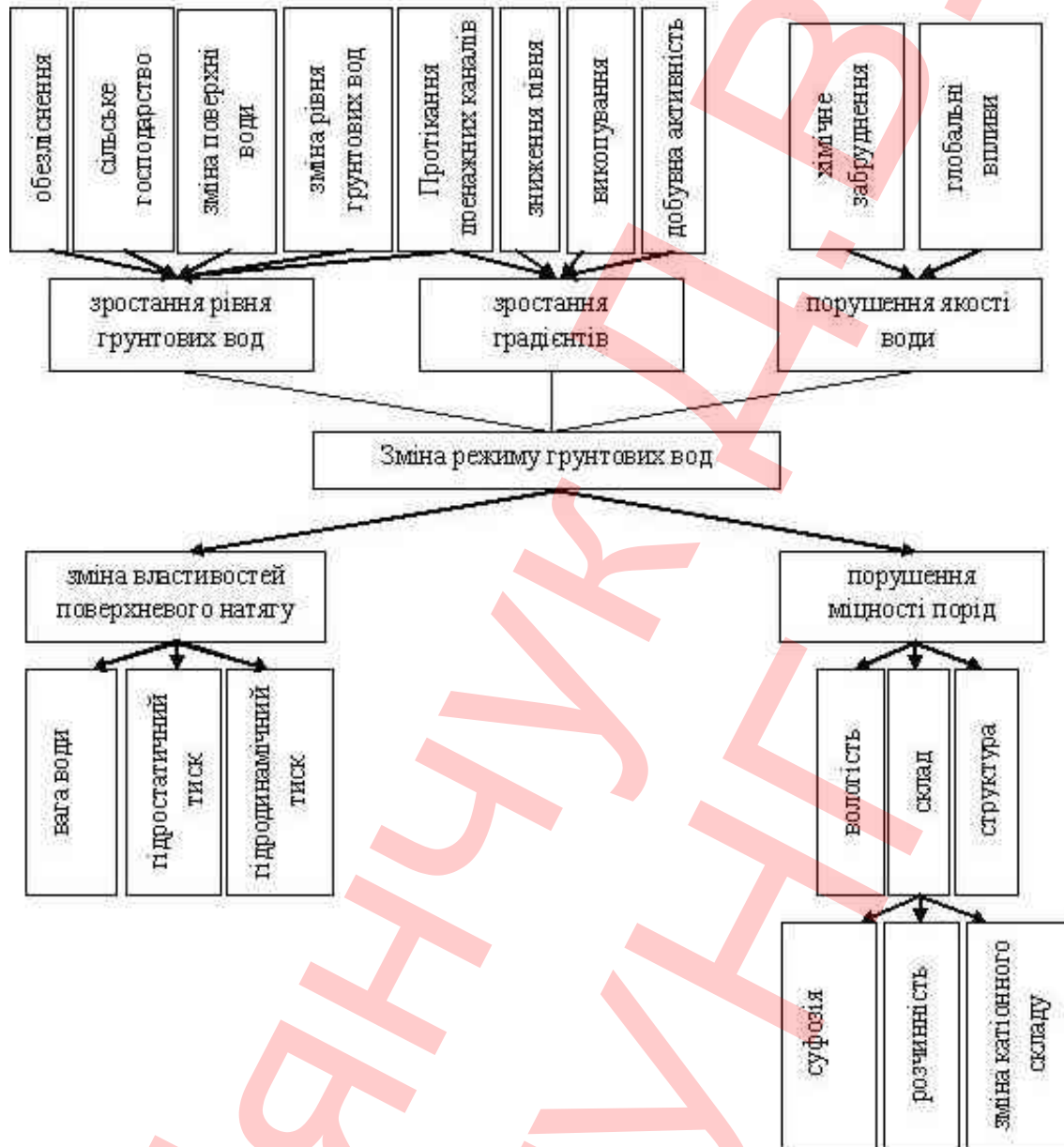


Рис. 3.9. Схема впливу режиму ґрунтових вод на процес розвитку ЕГП

Зміни властивостей ґрунтів найбільше відбуваються, головним чином, у тих частинах нахилів, які напружує розтяжна напруга в зоні активізації та в гравітаційному послабленні укосів. Ґрунти, за цих умов, можуть абсорбувати воду, яка призводить до зміни їх вологості, та зменшення стабільності укосів.

Ці зміни в майбутньому призводять до подальших змін у складі та структурі ґрунтів (порід) через механічну суфозію, хімічне вилуговування та обмін катіонів.

Вони не відбуваються раптово, а є поступовим процесом, які мають у своїй основі наступні дії.

1. Вирубвання лісу. Вплив лісового покриву на умови розвитку ЕГП є усестороннім. Це викликано значними відмінностями у функціях різних видів лісів,

а також і відмінностями в геологічних, гідрогеологічних, геоморфологічних і кліматичних умовах місця дії. За умов незначного вирубування лісу, або вирубування його на незначних територіях, має стабілізуючий ефект, видаляючи дерева, що завантажують нахил, виключаючи впливи вітру, який дозволяє схилу сохнути швидше після інтенсивного дощу. У більшості випадків, воно приводить до порушення режиму водонасичення та стійкості схилів.

2. Меліорація. Невдалі меліораційні роботи істотно збільшують зовнішню ерозію та затримують інфільтрацію дощової води. Траншеї ерозії формуються на похилому схилі. Висхідний тиск зростає. Ґрунти поступово стають водонасиченими і втрачають свою міцність.

3. Зростання швидкостей просочування. Підвищення швидкості просочування ґрунтової води має місце у випадку раптового падіння водного порогу у водних резервуарах. Швидкість фільтрації ґрунтової води може також бути підвищена, коли схил є підрізаним. Якщо такий нахил формують фільтраційно нестійкі ґрунти, суфозійні явища та гідродинамічний тиск приводять до виникнення ЕГП.

Не менш важливим чинником виступає той факт, що прокладені водопроводи із часом можуть протікати, що викликано як часовими так і сейсмічними змінами.

4. Зміни у фізично-хімічних властивостях ґрунтової води призведені витоками корозійної води, від підземних водопровідних труб або кислотним дощем. Через це корозійні води через вилуговування та обмін катіонів істотно прискорюють процеси змін нахилу схилів.

*Зміна лісових площ.* Вплив лісу є значним фактором, адже відомо, що він формує навколо себе мінієкосистему зі своїм мікрокліматом, ґрунтовими формуваннями, водним балансом та іншими складовими, які описано вище.

*Відстань до дороги, залізниці.* Дана факторна характеристика перш за все цікава тим, що несе в собі одну надважливу складову, а саме умови та технологічні особливості побудови інфраструктурних дорожніх об'єктів. Тобто, визначає вагу впливу таких факторних характеристик, як відстань до джерела вібрації, рівень вібрації, зміна кута нахилу, коефіцієнт стійкості [118,120].



*Відстань до населеного пункту.* Вплив діяльності людини через діяльність комунально-промислового, водогосподарчого, транспортного, сільсько-господарського та лісопромислового комплексів очевидний [93]. Однак, для того щоб оцінити величину такого впливу, недостатньо володіти інформацією про наявний господарський комплекс, а необхідно провести аналіз можливого взаємозв'язку даного фактора із іншими групами, що описані вище. Наявність господарського комплексу підкреслює вагомість даного фактора через вищезазначені ландшафтні, геоморфологічні та гідрологічні групи чинників.

Для зручності описані вище техногенні факторні характеристики представлено у вигляді таблиці 3.7.

### **3.4. Часові фактори розвитку екзогенних геологічних процесів**

*Температурні показники.* В останні десятиліття вчені світу все частіше вивчають впливи від змін клімату. Вивчення динаміки впливу змін кліматоутворюючих факторів на розвиток ЕГП у більшості випадків зводиться до ствердження існування факту зв'язку між ними. Основною виступають динамічні зміни температурного режиму, сонячної радіації, вулканічної активності. Це пов'язане з необхідністю складного пошуку причинно-наслідкового зв'язку між процесами активізації та вибору тієї чи іншої складової (фактора), що призвела до виникнення зсуву.

Основні планетарні дослідження з аналізу природних змін клімату відображуються Всесвітньою метеорологічною організацією, яка забезпечує усесторонній збір, аналіз та прогноз погоди, клімату та водності.

Розвиток і активізація зсувних процесів зумовлюють ряд просторових і часових факторів. Розглянемо деякі з них, врахувавши при цьому базові фактори, такі як [104]: опади, сейсмічна активність, сонячна активність.

Таблиця 3.7

#### **Фактори активізації ЕГП (техногенна складова)**

Група чинників	Фактор	Характеристика	Факторна
----------------	--------	----------------	----------

		його дії на процес	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 й гідрологічних умов	Відстань до джерела вібрації, рівень вібрації
	Модифікація схилів		Зміна кута нахилу
	Перевантаження схилів		Коефіцієнт стійкості
	Наявність доріг, залізниць		Відстань до дороги, залізниці
	Наявність населених пунктів		Відстань до населеного пункту
Гідрологічні	Коефіцієнт порушеності	Визначає характер фільтрації	Коефіцієнт порушеності, рівень ґрунтових вод

Опади. Вода є основною причиною зсувів, оскільки при значних її кількостях, вона насичує поверхневі схилі шари ґрунту і змушує їх ковзати вниз під дією гравітації. Інтенсивні опади або танення снігу призводять до зміни рівнів ґрунтових вод, зміни рівня води уздовж берегових ліній річок, озер, земляних гребель, каналів, водосховищ – усе це може викликати активізацію зсувопроявів. Вода також зменшує коефіцієнт внутрішнього тертя, тобто зчеплення ґрунтів.

У XX столітті розрахункова загальна кількість світових опадів збільшилась приблизно на 2%, хоча розрахована тенденція змінюється в залежності від вибору граничних часових меж та іншими коливаннями, включаючи збільшення загальної кількості світових опадів протягом 50-х та 70-х років, аніж у 80-х та 90-х років незважаючи на позитивну тенденцію протягом століття в цілому. Також

спостерігається подібне незначне збільшення загальної кількості річкового стоку та середнього рівня вологості ґрунту. Це підтверджено відповідними картами NASA, шляхом оцінки за допомогою супутників потенціалу опадів у глобальній оцінці зсувної небезпеки.

Температура. Не менш важливим фактором, який визначає глобальні коливання, є зміна температурного режиму. Зокрема, очікувана зміна значень аномалії приповерхневої температури Землі (1961 - 1990 рр.) з урахуванням 90% інтервалу для періоду з 2014 по 2050<sup>о</sup>рр. [105] представлена на рис. 3.10.

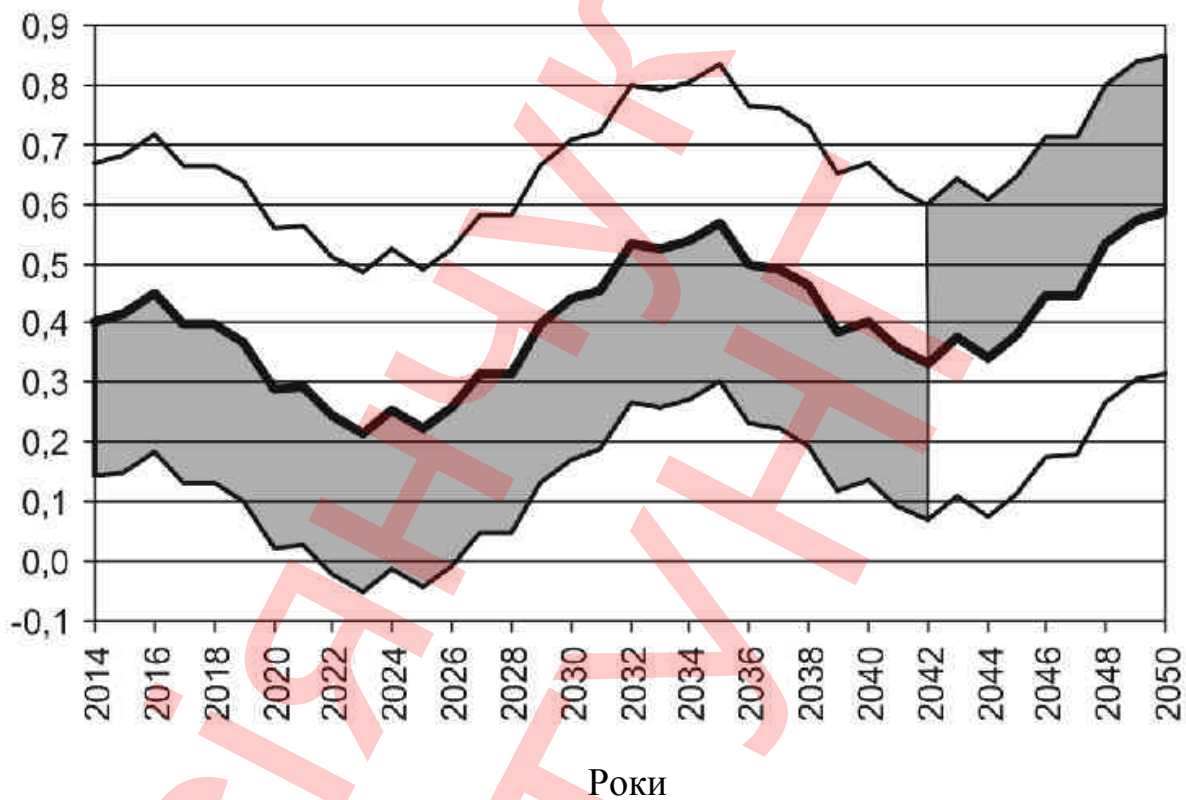


Рис. 3.10. Зміна аномалії глобальних приповерхневих температур Землі.  
«Теплі» і «холодні» епохи виділені сірим фоном

Залежно від цього вони умовно визначаються як «теплі» і «холодні» відповідно (табл. 3.8). Для Землі на протязі з 1900 по 2013 рр. виділяються чотири таких групи (епохи): 1900 - 1925 рр.- «холодна», 1926 - 1953 рр. - «Тепла», 1954 - 1985 рр. - «Холодна», 1986 - 2013 рр.- «тепла». Подібні групи виділяються і для півкуль. У північній півкулі однорідність (за критерієм вище або нижче розрахункових) значень в групах в середньому становить 88,1%. Хронологічно ці групи синхронізуються з виділюваними в типізації атмосферних процесів для

північної півкулі циркуляційними епохами [106]. Вони також подібні з інтервалами різних станів сучасного клімату відображають етапи багаторічного взаємодії в системі океан - атмосфера [107].

Таблиця 3.8

### Характеристика теплих і холодних епох в діапазоні 1900-2013 рр. [105]

Епоха	Кількість років		
	Усього	«Теплих»	«Холодних»
Земля в цілому			
1900-1925 «Холодна»	26	4 (15,4%)	22 (84,6)
1926-1953 «Тепла»	28	23 (82,1%)	5 (17,9)
1954-1985 «Холодна»	32	4 (12,5%)	28 (87,5)
1986-2013 «Тепла»	28	23 (82,1%)	5 (17,9)
Північна півкуля			
1900-1925 «Холодна»	26	4 (15,4%)	22 (84,6)
1926-1953 «Тепла»	28	24 (85,7%)	4 (14,3)
1954-1985 «Холодна»	33	1 (3,0%)	32 (97,0)
1986-2013 «Тепла»	27	23 (85,2%)	4 (14,3)

Сейсмічна активність. Більшість гірських районів уразливі до сейсмічної активності. Сейсмічна хвиля, утворена землетрусом, дозволяє ґрунтовим водам швидко проникнути в міжґрунтові пласти, зробивши їх ковзаючими один відносно одного. Окрім того, вона надає первісного поштовху ґрунтовим масам.

Івано-Франківську область відносять до помірно активної сейсмоактивної зони України. Однак, на незначних глибинах залягання вогнищ землетрусів, навіть незначна інтенсивність ( $I=3-4$  бали) сейсмічних струшувань може завдати значних пошкоджень спорудам в епіцентральної зоні завдяки виникненню вторинних інженерно-геологічних явищ, таких як зсуви, нерівномірні просадки ґрунту тощо.

Сонячна активність. Щодо сонячної активності сейсмічна активність спостерігається в протифазі, тобто зростання кількості та енергії землетрусів припадає на час сонячного затишшя в ряду чисел Вольфа, що доведено у працях [108,109] для Карпат і Карпатського регіону.

У якості аналізу часових багаторічних спостережень обрані: число Вольфа, енергія землетрусів  $Ig(\sum E)$ ,  $N$  (кількість землетрусів), температура (середньорічна), опади (річні), річна температура (світова), середньорічна світова температура (за 5

років), середньорічна температура у межах 44°-64°Пн.ш. Для аналізу опадів та температури (у межах досліджуваної території) було вибрано результати багаторічних спостережень по метеопостах «Івано-Франківськ», «Долина» та «Коломия».

Кореляційний аналіз даних опадів та температури показує існування тісного кореляційного зв'язку між наборами даних, що підтверджує взаємозв'язок між даними групами факторних характеристик. Це дозволяє робити припущення, що даний зв'язок може мати місце і у світовому масштабі.

Тому, при виборі світових температурних змін, було проведено аналіз між основними групами розрахункових температур, а саме: річна температура (світова), середньорічна світова температура (за 5 років), середньорічна температура у межах 44°-64°Пн.ш. (фактично відображена зміна за кліматичними поясами). Основною при розгляді світових температурних коливань безперечно виступає зміна середньорічної температури у межах 44°-64°Пн.ш., яка виступає зв'язковою ланкою при розгляді впливу світових кліматичних (температурних) циклів на імовірність розвитку й активізації зсувів чи будь-яких інших ЕГП.

При розгляді кореляційних залежностей базових факторних характеристик (табл. 3.9) [20,105,106,109], була виявлена взаємозалежність між значеннями «число Вольфа» та температурними змінами як у межах досліджуваної ділянки, а й світовому спостереженні.

Наявність, хоч і не дуже сильного, але достатнього, для підтвердження теорії про вплив кліматичних (температурних) змін на розвиток і активізацію ЕГП, рівня кореляційного зв'язку дозволяє в подальшому виробити чітку послідовність просторово-часового розподілу змін температури та можливості активізації ЕГП на окремих ділянках. Сформовані результати для «Опадів» не несуть кореляційного зв'язку по відношенню до інших факторів, оскільки, на мою думку, це викликане незначним вибором даних по опадах. У процесі аналізу така вибірка охоплювала тільки частину досліджуваної території, де явних, значних проявів зсувів не спостерігається, а ті що є, мають переважно техногенний характер. Однак, як

зазначалось вище, існує значний зв'язок у межах досліджуваної території як для опадів так і температури.

Таблиця 3.9

### Коефіцієнти кореляції базових факторних характеристик

	Число Вольфа	Енергія землетрусів $Ig(\Sigma E)$	N (кількість землетрусів)	Температура (середньорічна)	Опади (річні)	Річна температура (світова)	Середньорічна світова температура (за 5 років)	Середньорічна температура у межах 44°-64°Пн.ш.
Число Вольфа	1,00	-0,28	-0,26	0,38	-0,01	0,38	0,35	0,38
Енергія землетрусів $Ig(\Sigma E)$	-0,28	1,00	0,71	0,05	0,02	-0,37	-0,30	-0,37
N (кількість землетрусів)	-0,26	0,71	1,00	0,05	0,07	-0,15	-0,11	-0,14
Температура (середньорічна)	0,38	0,05	0,05	1,00	-0,14	0,45	0,49	0,55
Опади (річні)	-0,01	-0,02	0,07	-0,14	1,00	-0,10	-0,20	-0,11
Річна температура (світова)	0,38	-0,37	-0,15	0,45	-0,10	1,00	0,93	0,87
Середньорічна світова температура (за 5 років)	0,35	-0,30	-0,11	0,49	-0,20	0,93	1,00	0,77
Середньорічна температура у межах 44°-64°Пн.ш.	0,38	-0,37	-0,14	0,55	-0,11	0,87	0,77	1,00

\*курсивом виділено істотні кореляційні зв'язки

Шляхом побудови автокореляційних функцій було встановлено основні періоди коливань, роки: число Вольфа – 10-11; енергія землетрусів  $Ig(\Sigma E)$  – 5, 10-12; температура (середньорічна) – 5, 10-11; опади (річні) – 5, 7 10-13; річна температура (світова) – 26-28; середньорічна світова температура (за 5 років) – 18-20; середньорічна температура у межах 44°-64°Пн.ш. – 25-60; активізації зсувів – 6, 8-10, що підтверджено результатами відповідного аналізу [111, 112]. Тому можна стверджувати про правильність підходу до вибору факторів при аналізі можливих

впливів кліматичних змін, а саме глобальних змін температурного режиму на розвиток і активізацію зсувів.

За результатами побудови автокорелограм (рис. 3.11), можна говорити про існування не тільки тісного кореляційного, а й зв'язку у часових формах прояву аналізованих базових факторів. Зміщення по роках між факторами становлять (по відношенню до числа Вольфа, як основного часового фактора який використовується при прогнозуванні [111]): енергія землетрусів  $\lg(\sum E) - \pm 6$ ; опади (річні) – -3; усі температурні показники є синфазними.

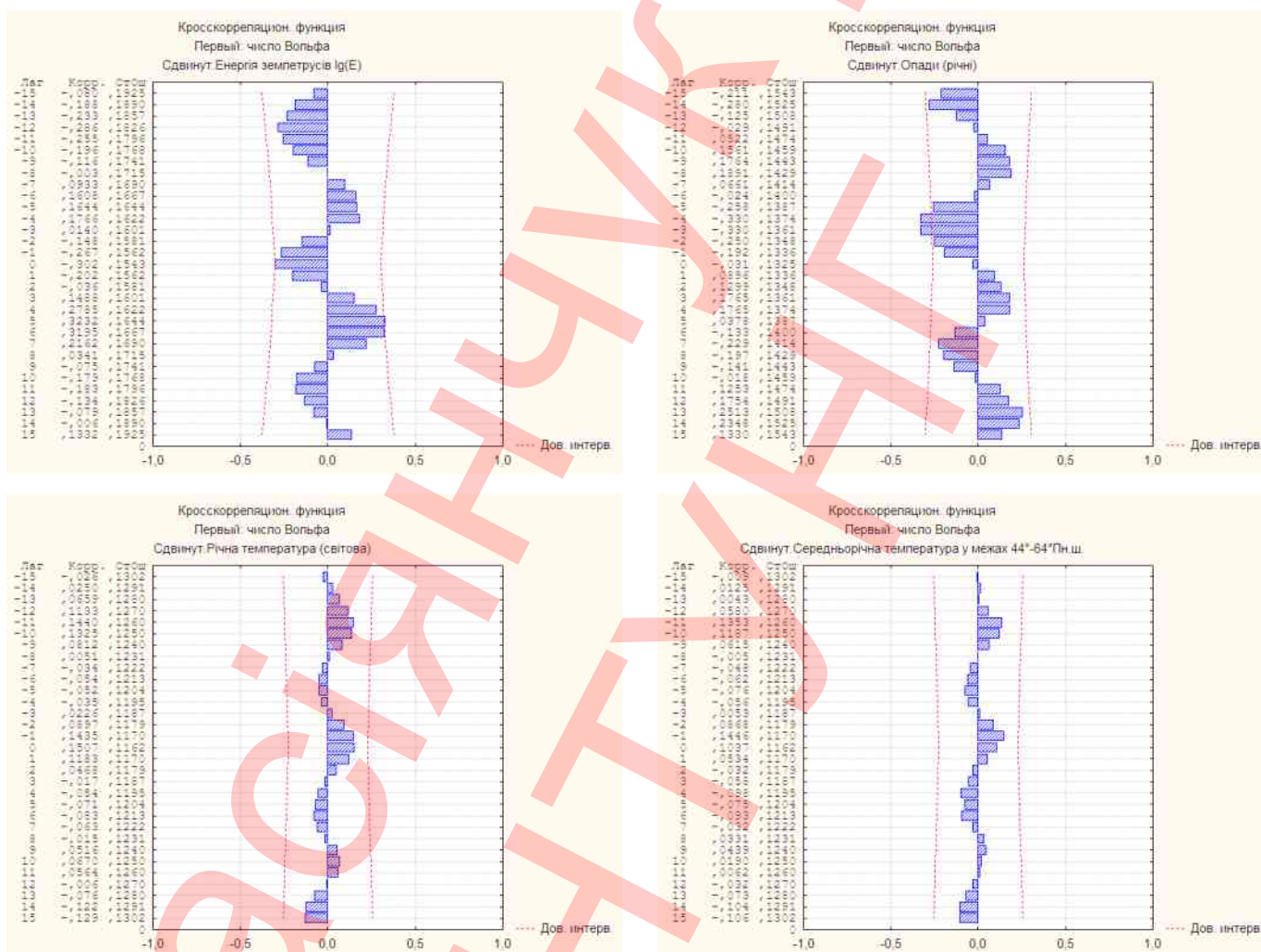


Рис. 3.11. Результати аналізу зв'язку між сонячною активністю, землетрусами, опадами та температурними показниками

*Фази Місяця.* Про можливий вплив планет сонячної системи та Місяця на ритмічні коливання геологічних і метеорологічних процесів на Землі вказують

Ємельянова О. П., Шеко А. І., Круподеров В. С. та ін., які пов'язують 11-річний ритм сонячної активності з зсувопрооявами.

Дослідники Дружинін І. П., Сазонов Б. І., Ягодінський В. Н., Константиновська Л. В. [113,114] ототожнюють цей ритм з циклом Місяця тривалістю 18.6 років. Зокрема, у роботі [113] відзначається, що цикли Місяця обумовлюють зміну глобальної циркуляції атмосферного повітря та поверхні Світового океану по території Землі, що впливає на зміну тиску повітря, температури, опадів, рівня поверхневих вод.

Природний супутник Землі в періоди свого найбільшого тяжіння до нашої планети піднімає воду в морях і океанах, створюючи явище припливів [115]. Згідно роботи Фокіна А. Н. [115], “циркуляція в атмосфері Землі залежить від трьох основних факторів: швидкості руху Землі навколо своєї осі; інтенсивності радіаційного та електромагнітного поля Сонця (СА); зміни положення Місяця та планет (особливо Юпітера та Сатурна), які в сукупності формують енергію інших планет. При цьому останній фактор формує цикли від 12 до 300 років. Обвали, зсуви виникають під дією сонячно – місячних припливів”.

У публікації [116] зазначається, що “нерівномірний рух Місяця навколо Землі періодично зумовлює збурення в атмосфері та створює ті або інші типи погоди”. Згідно класифікації автора Комкова Н. А. – таких типів 14, в яких враховуються граничні розташування Місяця на орбіті, найбільше віддалення від екватора в північній і південній півкулі, перехід Місяця через екватор Землі (її проекції), при цьому змінюється гравітаційний вплив супутника на атмосферу, що й зумовлює різноманітність циркуляційних процесів над поверхнею Землі. Це створює цикли погоди в 18, 17.9 інколи 11 і 19 років. Висновок автора: при однакових або подібних ситуаціях Місяць, Сонце на Землі створюють умови для повтору аналогічної погоди, яка спостерігалася в минулому.

Дати довготривалих інтенсивних опадів в Карпатському регіоні України (Закарпаття, Прикарпаття, Буковина), які зумовили паводки, та відповідно екзогенні геологічні процеси охоплюють період з 17 липня 1947 р. по 11 червня 2012 р.



Найбільше екстремальні опади реєструються влітку (червень-липень, таких випадків 13 з 23). Для обґрунтованого аналізу часових зв'язків і виявлення циклів між фазами Місяця та періодами аномальних опадів застосовувалась автокореляційна функція (АКФ) та одномірний спектральний аналіз Фур'є (рис. 3.12). Загалом за весь період чітко виділяються такі періоди впливу фаз Місяця на екстремальні опади: 5, 7, 10, 12, 17, 19, 22 роки.

Якщо простежити за фазами Місяця, то великі зятяжні дощі групуються в періоди, коли Місяць знаходиться у фазі останньої чверті, першої чверті та декілька випадків зареєстровано під час фази нового та повного місяця. Цікавою особливістю є те, що у 10 випадках із 13 (остання чверть) та у 2 випадках із 5 (перша чверть) опади відбуваються на початку і до середини фази – на 1-3 день.

Розглянемо детально кожен фазу. Усього під час фази останньої чверті зафіксовано 13 випадків аномальних опадів. Для цієї фази характерні періоди 5, 7, 10, 12, 17, 19, 22 роки. Наступною фазою, яка виділяється сильними дощами, є фаза першої чверті – 5 випадків. Періодичність опадів така: 7, 10-11, 18, 21 рік. Під час фази нового місяця зареєстровано 3 випадки, часовий проміжок між якими становить 10, 18 р, у фазі повного місяця зафіксовано два значення тривалість між якими 3.6 роки (рис. 3.13).

Аналізуючи дані, які зображені на рисунку 3.13 [21], можна зробити припущення про існування залежностей між складовими факторами, які сприяють розвитку ЕГП, де важливу роль відіграє вплив Місяця. На діаграмі рисунка виділені ймовірні закони розподілу для фаз. Цікавим є факт, що вплив Місяця є неоднорідним протягом синодичного періоду. Це дозволяє нам провести розподіл його впливу на групи факторів.

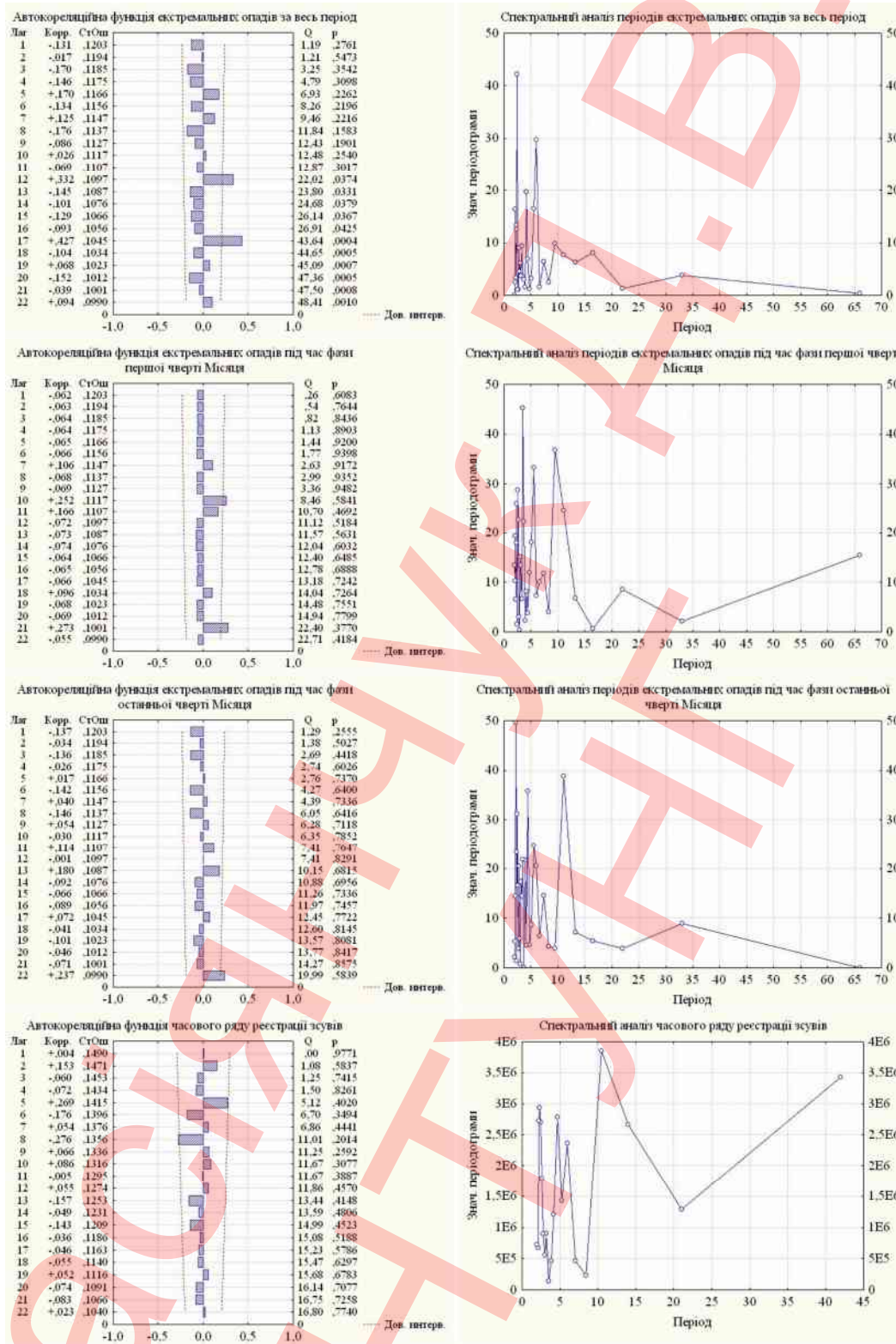


Рис. 3.12. Результати аналізу зв'язку між циклами фаз Місяця та періодами аномальних опадів із застосуванням (АКФ) та одномірного спектрального аналізу Фур'є

Активізація зсувів відбувається через 1-2 дні після інтенсивних опадів, коли ґрунти перезволожені, та узгоджується із іншими факторами. Наявність зростання

активізації від фази першої чверті до повні може бути охарактеризована як природна складова, її розподіл відповідає нормальному закону. При цьому значна інтенсивність і найбільша кількість зливових опадів, яка призвела до зсувопроявів, спостерігається в період першої половини останньої чверті, що відповідає логнормальному закону розподілу.

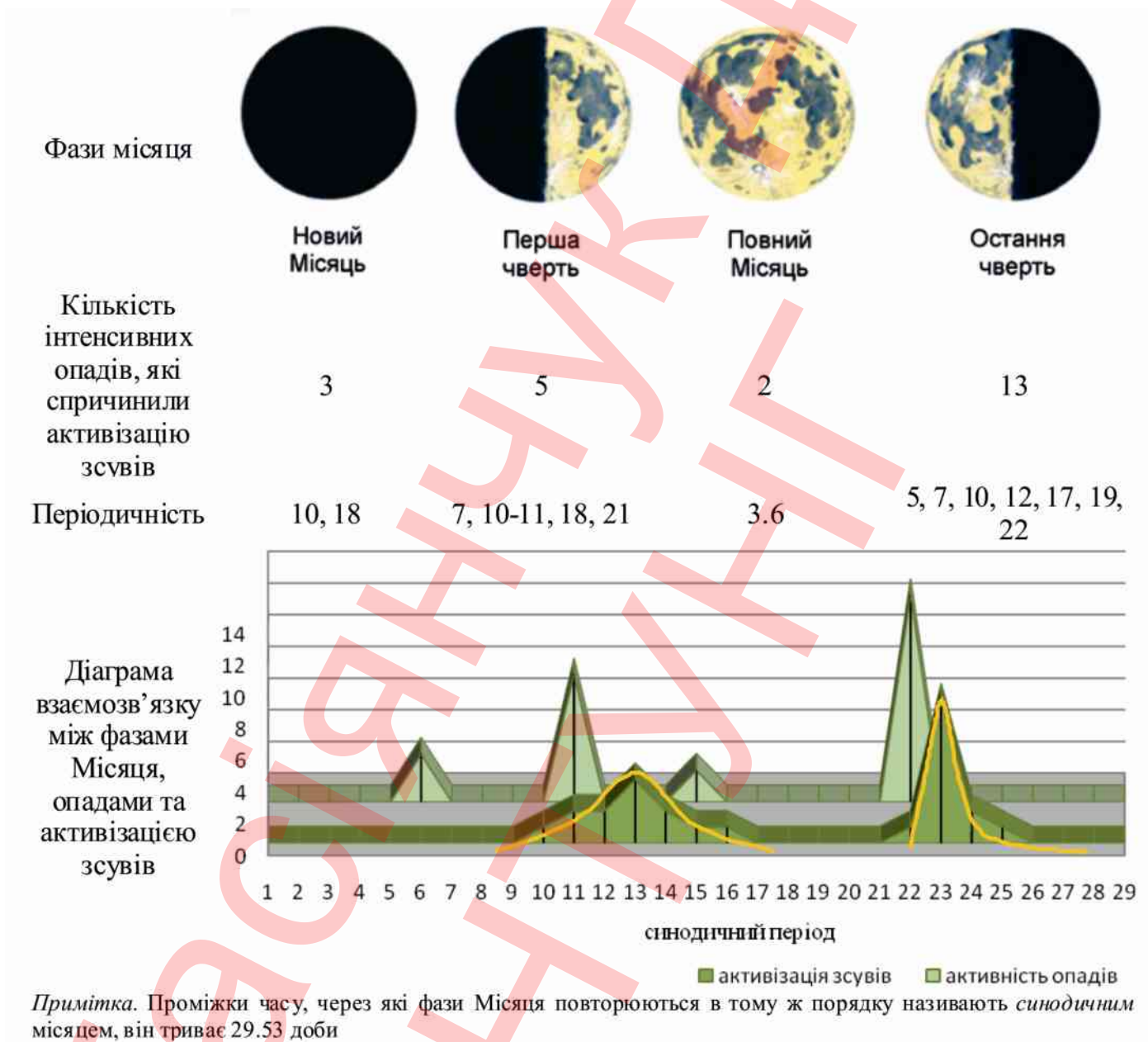


Рис. 3.13. Вплив фаз Місяця на періодичність природних процесів

Для того, щоби пояснити це, необхідно детально провести аналіз впливу місячних циклів як нової факторної характеристики у розрізі його взаємозв'язку з іншими факторами, зокрема сонячною активністю.

Спектральний аналіз Фур'є виділяє періоди таких пар 2-2.4, 5-5.5, 6.6-7.3, 9.4-12, 16.5-18, 21-22, які узгоджуються з АКФ і є спільними для всіх фаз.

Періоди 5-5.5, 6.6-7.3, 9.4-12, 21-22 є кратними півперіоду, періоду та подвійного періоду сонячної активності. Можна помітити, що гармоніки 5.5-6, 9.4 та 11 років присутні у спектрах усіх зазначених фаз і в цілому періоді. Цикли 5.5-6, 11 років узгоджується з півперіодом та періодом сонячної активності, а гармоніка 9.4 роки відповідає півперіоду циклу Місяця (18.6 р.).

Оскільки роки реєстрації масової активізації зсувів співпадають з періодами найбільших опадів, то бачимо спільні періоди: 2, 5, 7, 9-10, 12, 19, 22 роки.

### **Висновки до розділу 3**

Вибір кількісних факторних просторових характеристик здійснюється за наступними критеріями: 1) наявність літературних даних про зв'язок між ЕГП та певною факторною характеристикою; 2) уявлення про можливість такого зв'язку з точки зору фізики явища.

Якщо розглядати тільки природну складову (найбільш досліджену) екзогенних процесів, із 31 фактору (його кількісного показника) 19 (~61 %) факторів є спільними для зсувів, селів і карсту, а розглянуті техногенні фактори не володіють інформативністю, яка би істотно вказувала на їх вплив.

У процесі аналізу було обрано 5 груп чинників для природної складової, які включали в себе 13 факторів, а для техногенної – 4 групи із 8 факторами.

При цьому вперше детально описуються та досліджуються техногенні чинники. Серед них виділено вплив зміни режиму ґрунтових вод, перевантаження схилів, підрізання схилів, динамічних вібрацій, ураженість дорожньою мережею та населеними пунктами тощо. Це дає передумови стверджувати про існування груп впливу на процеси активізації – природну та техногенну.

Подальша систематизація факторних характеристик і статистичний аналіз є основою для розрахунку їх вагового коефіцієнту інформативності для природної та техногенної складової. Експериментальне підтвердження правильності вибору факторів надане в наступному розділі.

Слід запропонувати використовувати нові підходи при просторово-часовому аналізі процесів активізації зсувних процесів, шляхом включення до аналізу багаторічних змін клімату, що виражається насамперед глобальними довготривалими змінами температури та фазами Місяця.

Глобальні зміни клімату мають значний вплив на розвиток зсувних процесів, та ЕГП у цілому. Зміна аномалій глобальних температур та сонячної активності доводить існування циклічності між «теплыми» – 2,5 цикла сонячної активності та «холодними» – 3 цикла сонячної активності епохами. Виходячи із даних результатів, можна говорити про існування часового зв'язку між досліджуваними температурними показниками. Зміщення по роках між факторами становлять (по відношенню до числа Вольфа, як основного часового фактора): енергія землетрусів  $Ig(\Sigma E) - \pm 6$ ; опади (річні) – -3; усі температурні показники є синфазними.

Статистичний аналіз узгодженості екстремальних опадів з фазами Місяця дозволив виявити якісний та кількісний взаємозв'язок періодичних закономірностей у впливі Місяця на погоду, зокрема, на формування довготривалих аномальних опадів, які в свою чергу є головною умовою для активізації екзогенних геологічних процесів. Виявлено, що в більшості випадків аномальні дощі випадають у останній або першій чверті фаз Місяця, причому в 12 випадках із проаналізованих 23 максимальні опади реєструються на 1-3 день фази Місяця. Цикли екстремальних опадів 5.5-6, 9.4 та 11 років, присутні у спектрах усіх зазначених фаз і в цілому періоді та є кратними періодам сонячної активності та циклу Місяця. Періодичність активізації зсувопроявів узгоджується з ритмами фаз Місяця, спільні періоди – 2, 5, 7, 9-10, 12, 19, 22 роки.

## РОЗДІЛ 4

### СТАТИСТИЧНИЙ АНАЛІЗ ФАКТОРІВ ПРИРОДНОЇ ТА ТЕХНОГЕННОЇ СКЛАДОВОЇ ЕКЗОГЕННИХ ГЕОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ

Основне завдання статистичного аналізу даних полягає в розподілу груп факторів на природну та техногенну складові. Це дозволить аналітично обґрунтувати правильність вибору факторних характеристик шляхом проведення перевірки відповідності факторних розподілів даних відповідним їм теоретичним аналогам, аналізу статистичних розподілів та класифікації факторів для доведення необхідності роздільного прогнозування їх природної та техногенної складові.

Для подальшого порівняльного аналізу фактичних даних із даними теоретичного розподілу необхідно провести перевірку результатів їх відповідності законам розподілу: нормальному – природна складова, логнормальному або такому, що містить експоненту – техногенна складова.

З цією метою за фактичними даними слід розрахувати теоретичні частоти кривих нормального, логнормального, гамма, експоненціального, екстремального законів розподілу.

Закони розподілу факторних характеристик розраховані за допомогою критерію Колмогорова-Смірнова, який рекомендується літературою при значній за обсягом вибірці даних, коли ймовірний теоретичний закон розподілу не обов'язково повинен бути нормальним [121]. Розрахована так звана D-статистика для кількох законів, яким може відповідати вибірка, а також критичне значення D-статистики. Якщо значення D-статистики менше критичного, то теоретичний закон розподілу приймається як потенційний для досліджуваної вибірки.

Проведемо відповідний статистичний аналіз факторів природної та техногенної складові розвитку зсувів. У процесі аналізу було обрано 766 зсувних ділянок, 2169 карстопроявів, 45 селів, для яких розраховані факторні характеристики на основі даних картографічних матеріалів (додатки В-Т). Результати статистичного аналізу факторних характеристик екзогенних процесів для природної та техногенної складові представимо у вигляді таблиць, які представлені

нижче. Структура таблиць передбачає надання відомостей щодо основних статистик і типів розподілу, відповідно: 1 – нормального, 2 – логнормального, 3 – гамма, 4 – експоненціального, 5 – екстремального закону.

#### 4.1. Зсуви

##### *Природна складова.*

Результати статистичного аналізу [14,18] даних показали, що при вилученні ураганних значень значення критерію Колмогорова-Смірнова зменшується (табл. 4.1).

Факторні характеристики, які знаходяться під номерами 2,11 та 5,7,9, змінили свій закон розподілу з другого місця на перше та з третього на перше місце відповідно. У п'яти випадках регуляризація даних вплинула на зміну закону розподілу, перевищивши критичне значення критерію Колмогорова-Смірнова для вибірки факторної характеристики.

Регуляризація даних значно впливає на зміну закону розподілу [122]. Зменшення об'єму вибірки та відсутність ураганних значень позитивно позначається на достовірності значень вибірки та законі розподілу, а з другої – відбувається «штучно», за рахунок процедур інтерполяції чи екстраполяції, не за рахунок реальних картографічних розрахункових даних.

Важливість перетворення значень факторних характеристик так, щоб закони розподілу даних відповідали нормальному, полягає в приведенні закону розподілу до теоретичного. Для цього слід прологарифмувати значення факторної характеристики та представити відповідні їм гістограми розподілів абсолютних значень і логарифмів факторних характеристик та їхні теоретичні аналоги для нормального (природна) та логнормального (техногенна) закону розподілу (рис. 4.1).

При аналізі факторних характеристик, виявленні впливу дублюючих факторів, не варто забувати про різну природу факторів та формалізований математичний шлях їх розрахунків.

Таблиця 4.1

## Дані статистичного аналізу факторних характеристик (природна складова)

№	Факторна характеристика	Середнє значення	Середньо-квадратичне відхилення	Закон розподілу	Розрахункове значення критерію Колгморова-Смірнова					Критичне значення
					1	2	3	4	5	
1	Коефіцієнт ураженості літофаціальної зони, геологічної свити	0,957	0,338	1	0,192	0,285	0,296	0,386	0,453	0,226
2	Коефіцієнт ураженості в межах району (в т.ч. іншими ЕГП)	12,129	3,951	3,2,1	0,425	0,321	0,061	0,595	0,538	0,508
3	Кількість (інтенсивність) опадів	740,796	90,515	2,3,1	0,150	0,137	0,141	0,524	0,327	0,150
4	Відстань до тектонічного розлому	2125,602	3700,434	2,1	0,283	0,144	0,234	0,328	0,712	0,283
5	Відстань до базису ерозії	120,376	191,519	4,3,2	0,265	0,124	0,106	0,090	0,566	0,265
6	Абсолютна оцінка над рівнем моря	581,358	246,407	2,3,1	0,128	0,092	0,107	0,291	0,420	0,146
7	Кут нахилу денної поверхні	8,522	6,450	3,4,2,1	0,111	0,104	0,053	0,102	0,201	0,120
8	Відстань до найближчого прояву	4497,188	3325,703	2,3,1	0,088	0,048	0,064	0,134	0,490	0,089
9	Відстань до вододілу	1085,305	1509,035	3,1,2	0,195	0,222	0,128	0,270	0,641	0,236
10	Експозиція схилу	252,655	99,159	2,3,1	0,140	0,127	0,132	0,282	0,409	0,147

Часто зв'язок між різними факторами та їх факторними характеристиками при аналізі геологічного середовища взагалі не піддається поясненню з генетичного чи причинно-наслідкового поглядів, оскільки спостережувані взаємозалежності можуть бути пов'язані не з досліджуваними геологічними процесами, а, наприклад, з методикою вимірювання або іншими причинами [123].

Вивчення взаємозв'язків між факторними характеристиками за допомогою кореляційного та кластерного аналізу дозволяє виявити та глибше зрозуміти фізику



явища, визначити найбільш інформативні факторні характеристики, що впливають на досліджуваний процес.

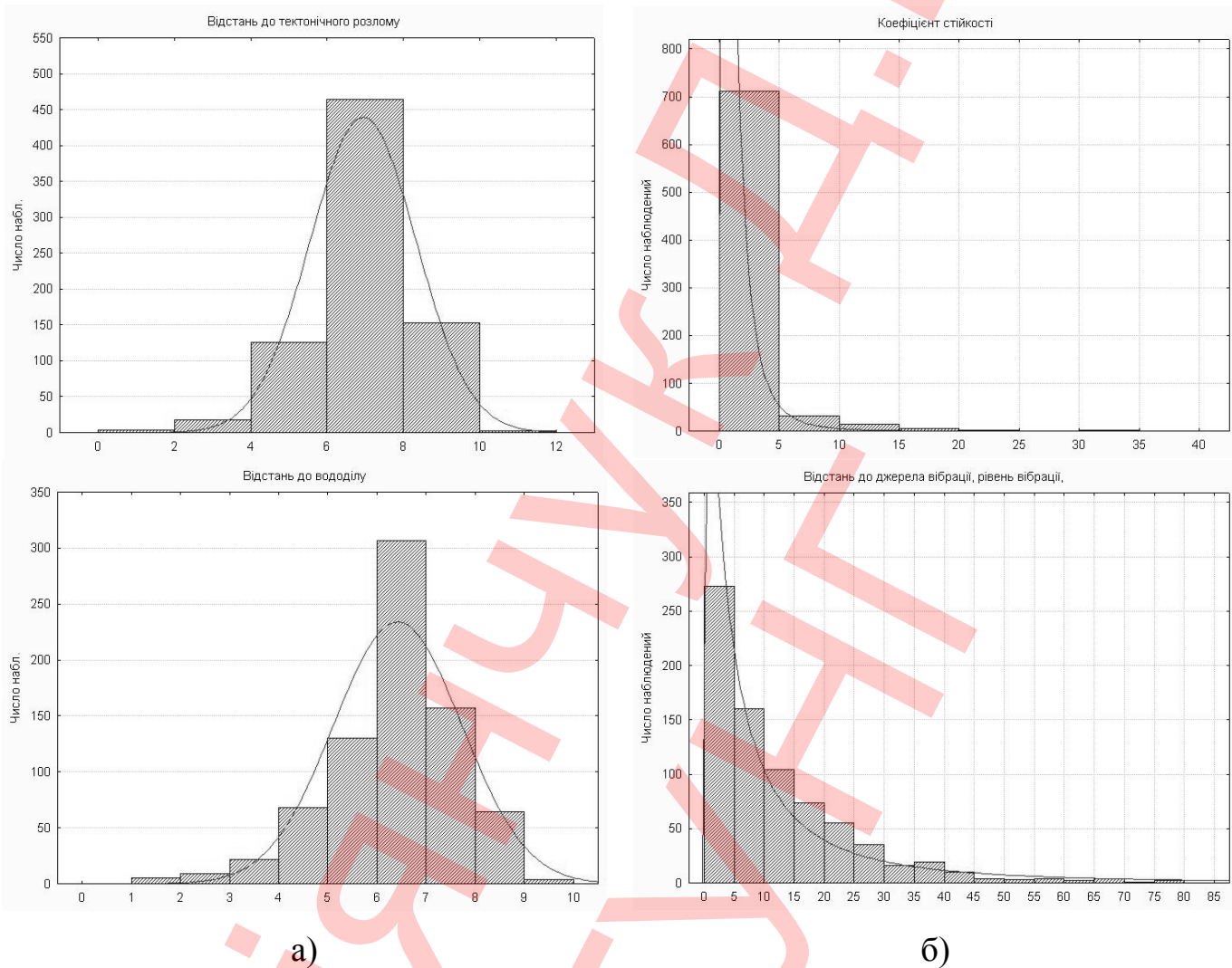


Рис. 4.1. Гістограми законів розподілу факторних характеристик розвитку зсувів:  
а) природна, б) техногенна складова

Оскільки функціональні залежності між досліджуваними параметрами в переважній більшості випадків невідомі, дуже складні та недостатньо вивчені, то використання кореляційного аналізу є важливим для моделювання (прогнозування) геологічних процесів.

Наведені розрахунки матриць парних коефіцієнтів кореляції (табл. 4.2) між факторними характеристиками, з виділенням курсивом істотних значень, дозволяють краще оцінити кореляційні зв'язки між групами факторних характеристик. Використання в розрахунках матриць парної, а не множинної

кореляції пояснюється наступним. По-перше, матриця парної кореляції найпростіша для дослідження, решта побудована на її основі; по-друге, парний коефіцієнт кореляції стосується лінійної моделі (просторового прогнозування селів) зв'язку між даними, у складніших випадках досліджують множинну кореляцію (часове прогнозування зсувів), по-друге, відповідні матриці парних та множинних коефіцієнтів кореляційні для природної та техногенної складової не відрізняються.

Таблиця 4.2

**Матриця парних коефіцієнтів кореляції між факторними характеристиками  
для природної складової**

Факторна характеристика	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Коефіцієнт ураженості літофасіальної зони, геологічної свити (1)	1,00	-0,01	0,04	-0,10	0,02	-0,09	0,09	0,10	-0,03	-0,00
Коефіцієнт ураженості в межах району (в т.ч. іншими ЕГП) (2)	-0,01	1,00	0,14	-0,06	-0,01	0,02	0,10	0,03	-0,04	0,01
Кількість (інтенсивність) опадів (ln) (3)	0,04	0,14	1,00	-0,45	0,07	-0,24	0,81	0,49	0,31	-0,06
Відстань до тектонічного розлому (ln) (4)	-0,10	-0,06	-0,45	1,00	-0,05	0,24	-0,55	-0,33	-0,17	0,07
Відстань до базису ерозії (ln) (5)	0,02	-0,01	0,07	-0,05	1,00	-0,07	0,06	0,03	0,02	0,06
Відстань до вододілу (ln) (6)	-0,09	0,02	-0,24	0,24	-0,07	1,00	-0,38	-0,35	-0,16	0,01
Абсолютна оцінка над рівнем моря (ln) (7)	0,09	0,10	0,81	-0,55	0,06	-0,38	1,00	0,70	0,27	-0,07
Кут нахилу денної поверхні (8)	0,10	0,03	0,49	-0,33	0,03	-0,35	0,70	1,00	0,11	0,03
Відстань до найближчого прояву (ln) (9)	-0,03	-0,04	0,31	-0,17	0,02	-0,16	0,27	0,11	1,00	-0,01
Експозиція схилу (ln) (10)	-0,00	0,01	-0,06	0,07	0,06	0,01	-0,07	0,03	-0,01	1,00

Примітка: ln – натуральний логарифм

Істотні значення між випадковими величинами можуть бути пояснені впливом прихованих (інших) факторів; компенсація ж тільки зменшить її реальний зв'язок, що може свідчити про наявний тісний причинно-наслідковий зв'язок між парами факторних характеристик.

Аналізуючи результати матриці парних коефіцієнтів кореляції для природної складової, варто відмітити окремі високі кореляційні зв'язки між факторними характеристиками, що підтверджує наявність тісних причинно-наслідкових зв'язків між парами факторних характеристик. Найвищих значень вони досягають для таких факторних характеристик як “Абсолютна оцінка над рівнем моря”, “Кількість (інтенсивність) опадів”. Виявлення значних кореляційних зв'язків між групами факторних характеристик пояснюється не тільки їх істотним кореляційним зв'язком фактичних картографічних даних, а тісним зв'язком фізики процесу, на який діє природний фактор. У загальному, кореляційні залежності не носять значного зв'язку, а отже вибрані факторні характеристики не повторюють один одного.

Основна мета кластерного аналізу полягає в пошуку наявних структур, що виражається в утворенні груп – кластерів схожих між собою об'єктів, а це, у свою чергу необхідно для виявлення структури в даних, яку нелегко знайти при побудові розподілів у вигляді гістограм.

Дендрограми факторних характеристик для природної та техногенної складової, які наведені на рисунках 4.2 і 4.4, вказують на існування тісних зв'язків між групами кластерів факторних характеристик, які варто було би замінити на один із групи.

Додатковий аналіз факторних навантажень методом головних компонент факторних характеристик не підтвердив наявність такого зв'язку для кластера «Кількість (інтенсивність) опадів» – «Абсолютна оцінка над рівнем моря».

Окремим важливим етапом нашого дослідження є оцінювання внеску ( $Rnp_i$  – коефіцієнту інформативності) окремих факторних характеристик у процес розвитку й активізації зсувів, розрахованих за формулою (табл. 4.3, 4.6) [124]:

$$Rnp_i = \frac{\sum_j |r_{ij}|}{\sum_i \sum_j |r_{ij}|}, \quad (4.1)$$

де  $r_{ij}$  – значення коефіцієнта парної кореляції між  $i, j$  змінними в таблицях 4.3 і 4.5 матриць коефіцієнтів кореляції.

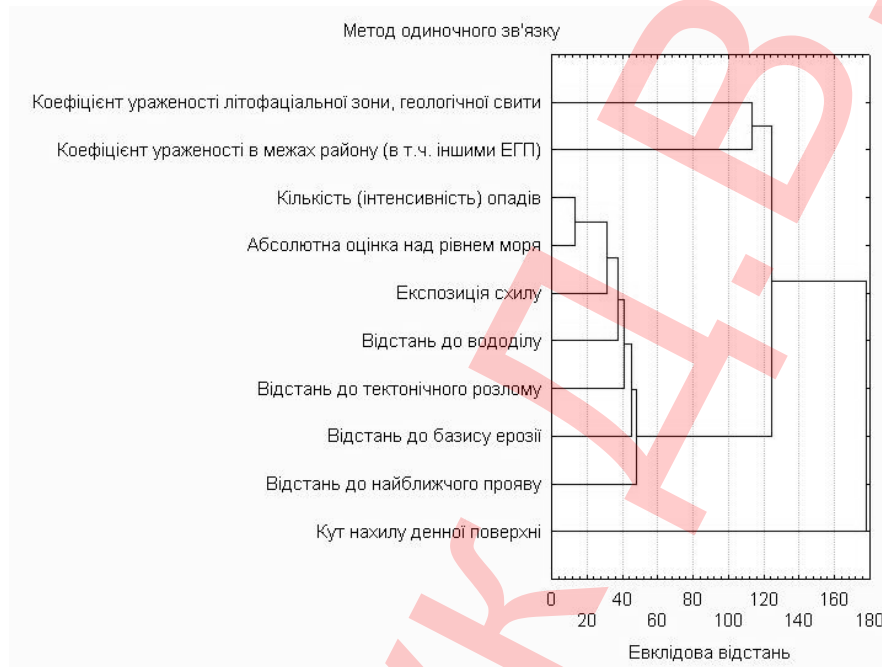


Рис. 4.2. Дендрограма евклідових відстаней між групами факторних характеристик природної складової

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

Результати розрахунку вагових коефіцієнтів, що представлені на круговій діаграмі (рис. 4.3), вказують на рівноцінність впливу факторних характеристик активізації та розвитку природної складової розвитку зсувів. Навіть такі факторні характеристики як “Кут нахилу денної поверхні” та “Експозиція схилу”, які не досягали високих значень кореляційного зв’язку, мають право на існування, що підтверджено додатковим кластерним аналізом. Порівняно високі значення інформативності “Абсолютна оцінка над рівнем моря”, “Кількість (інтенсивність) опадів” про які ішла мова раніше, підтверджують тільки їх істотний вплив з точки зору умов формування природного явища.

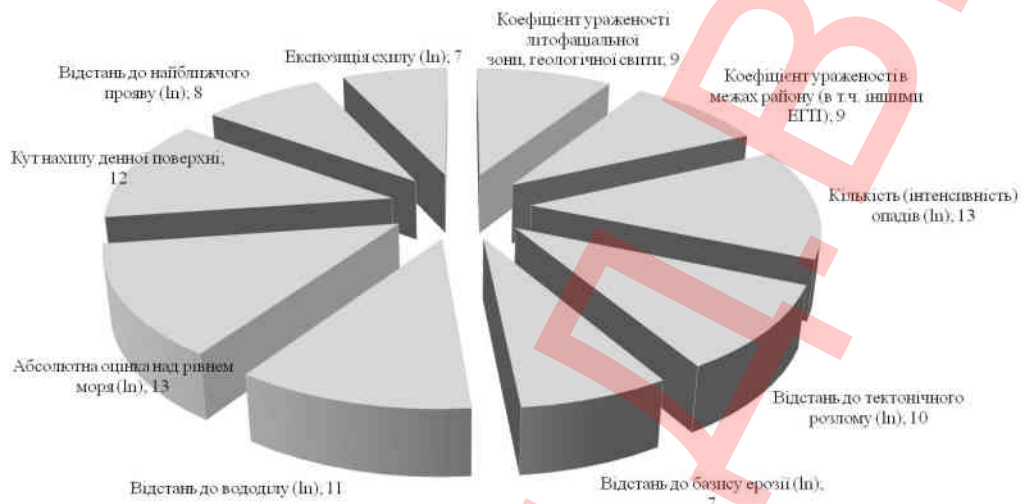


Рис. 4.3. Вагові коефіцієнт інформативності факторних характеристик для природної складової, %

#### *Техногенна складова.*

Вилучення ураганих значень у результаті статистичного аналізу техногенної складової (табл. 4.3), як і для природної складової, призводить до зменшення основних статистичних параметрів.

Розглянуті в таблиці результати аналізу з використанням критерію Колмогорова-Смірнова, для факторних характеристик під номерами 3,6,9 закон розподілу, що стояв на другому місці, став на перше. Регуляризація даних у цих випадках вплинула на зміну закону розподілу, перевищивши критичне значення критерію для вибірки факторної характеристики.

Дані таблиці матриці парних коефіцієнтів кореляції для техногенної складової (табл. 4.4) підтверджує наявність тісних причинно-наслідкових зв'язків між парами факторних характеристик.

Найвищих значень вони досягають для таких факторних характеристик як “Відстань до ділянок порушення геологічного середовища (водозаборів, кар'єрів)”, “Коефіцієнт порушеності”, “Відстань до джерела вібрації, рівень вібрації”. Існування такого зв'язку між складовими факторів може пояснюватися не тільки високим кореляційним зв'язком фактичних картографічних даних, а й нашими уявленнями про фізику процесів активізації та розвитку зсувів.

Таблиця 4.3

## Дані статистичного аналізу факторних характеристик (техногенна складова)

№	Факторна характеристика	Середнє значення	Середньо-квадратичне відхилення	Закон розподілу	Розрахункове значення критерію Колгморова-Смірнова					Критичне значення
					1	2	3	4	5	
1	Відстань до ділянок порушення геологічного середовища (водозаборів, кар'єрів)	17054,91	13147,49	3,2	0,122	0,083	0,059	0,162	0,551	0,112
2	Коефіцієнт ураженості дорожньою мережею та населеними пунктами в межах району	0,77	0,44	3,2,1	0,154	0,145	0,108	0,211	0,374	0,208
3	Зміна лісових площ, відстань до границі лісу	116,15	325,81	3,2,4	0,361	0,053	0,025	0,057	0,185	0,173
4	Відстань до джерела вібрації, рівень вібрації	12,23	12,70	2	0,168	0,063	0,097	0,082	0,320	0,068
5	Зміна кута нахилу	4,77	2,68	2,1	0,249	0,206	0,292	0,288	0,292	0,275
6	Коефіцієнт стійкості	1,59	3,04	3,2,1	0,301	0,043	0,027	0,379	0,396	0,368
7	Коефіцієнт порушеності, рівень ґрунтових вод	607,58	270,04	2,3,1	0,125	0,099	0,106	0,280	0,418	0,130
8	Відстань до дороги, залізниці	610,42	719,40	3,2	0,200	0,184	0,154	0,227	0,567	0,198
9	Відстань до населеного пункту	415,59	727,02	4,2,3	0,285	0,100	0,107	0,064	0,288	0,284

Зв'язок між групами факторів, що представлений на дендрограмі (рис. 4.4) евклідових відстаней, вказує на існування тісного зв'язку. Однак, варто відмітити незалежність впливу факторних характеристик один від одного, наприклад

“Коефіцієнт ураженості дорожньою мережею та населеними пунктами в межах району” – “Зміна лісових площ”.

Таблиця 4.4

**Матриця парних коефіцієнтів кореляції між факторними характеристиками для техногенної складової**

Факторна характеристика	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Відстань до ділянок порушення геологічного середовища (водозаборів, кар'єрів) (ln) (1)	1,00	-0,54	-0,27	0,19	0,37	0,01	0,76	-0,02	0,21
Коефіцієнт ураженості дорожньою мережею та населеними пунктами в межах району (2)	-0,54	1,00	0,23	-0,24	-0,43	0,03	-0,65	-0,03	-0,19
Зміна лісових площ (ln) (3)	-0,27	0,23	1,00	-0,13	-0,15	0,07	-0,44	0,03	-0,07
Відстань до джерела вібрації, рівень вібрації (4)	0,19	-0,24	-0,13	1,00	0,05	-0,11	0,26	-0,02	0,15
Зміна кута нахилу (5)	0,37	-0,43	-0,15	0,05	1,00	0,12	0,37	-0,12	0,10
Коефіцієнт стійкості (6)	0,01	0,03	0,07	-0,11	0,12	1,00	-0,04	0,01	-0,10
Коефіцієнт порушеності (ln) (7)	0,76	-0,65	-0,44	0,26	0,37	-0,04	1,00	0,05	0,28
Відстань до дороги, залізниці (ln) (8)	-0,02	-0,03	0,03	-0,02	-0,12	0,01	0,05	1,00	0,31
Відстань до населеного пункту (ln) (9)	0,21	-0,19	-0,07	0,15	0,10	-0,10	0,28	0,31	1,00

Факторна характеристика “Відстань до джерела вібрації, рівень вібрації” на дендрограмі характеризується найбільшою відстанню відносно основних груп. Це пояснюється тим, що при його розрахунку брались значення, які широко варіюють у вібраційній здатності для різних видів господарських об’єктів. Подібність факторних характеристик, які здійснюють вплив, не мають достатньо підтверджень, оскільки природа техногенної складової не є досить вивчена, тому на дендрограмі техногенні групи факторів розміщені щільніше, ніж для природної складової розвитку зсувів.

Вагові коефіцієнт інформативності факторних характеристик для техногенної складової (рис. 4.5) є рівноцінними за своїм впливом. Факторні характеристики “Відстань до джерела вібрації, рівень вібрації” та “Відстань до дороги, залізниці”, “Коефіцієнт стійкості”, які не досягали високих значень кореляційного зв’язку, мають право на існування.

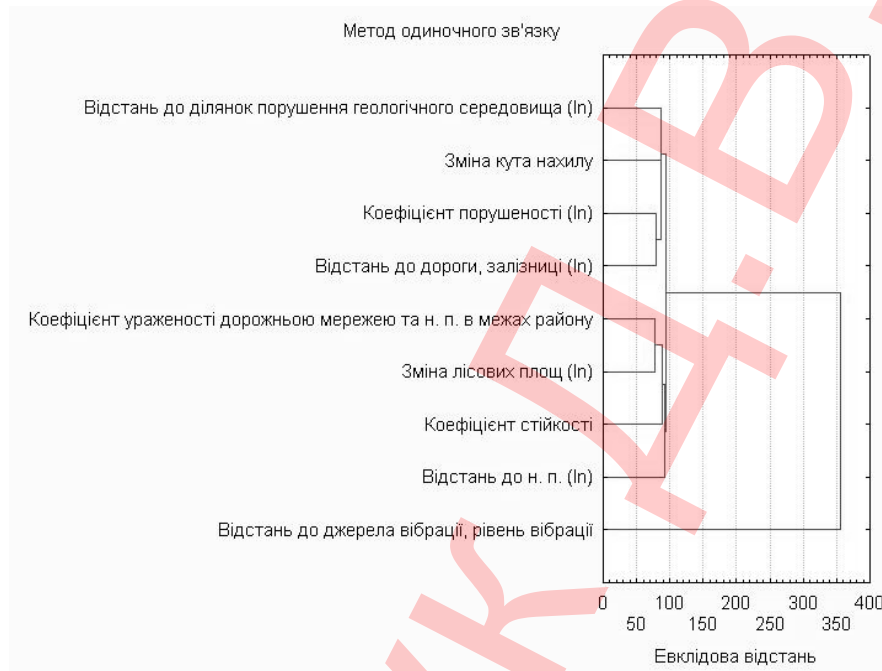


Рис. 4.4. Дендрограма евклідових відстаней між групами факторних характеристик техногенної складової

Необхідність використання в подальших дослідженнях усіх факторних характеристик підтверджено даними кластерного аналізу. Їх незалежність та важливість є очевидною, оскільки факторні характеристики нарізно описують умови формування техногенного явища утворення зсувів, включаючи їх математичну складову опису та розрахунку.

Значення вагових коефіцієнтів інформативності як для техногенної, так і для природної складової знаходяться приблизно в однакових відсоткових значеннях.

Виявлення взаємовпливу або повторюваності факторних характеристик між складовими є дуже важливим, оскільки за подальшого аналізу вага факторної характеристики може помилково надати перевагу модельованому процесу в точці, де цей вплив неможливий. Відсутність зв'язку факторів підтверджено відповідним статистичним аналізом, а також вибором факторних характеристик, який проводився з урахуванням фізики явища, окрім того, вагові значення інформативності не дають окремій факторній характеристиці переважати у сформованій структурі групи факторів.



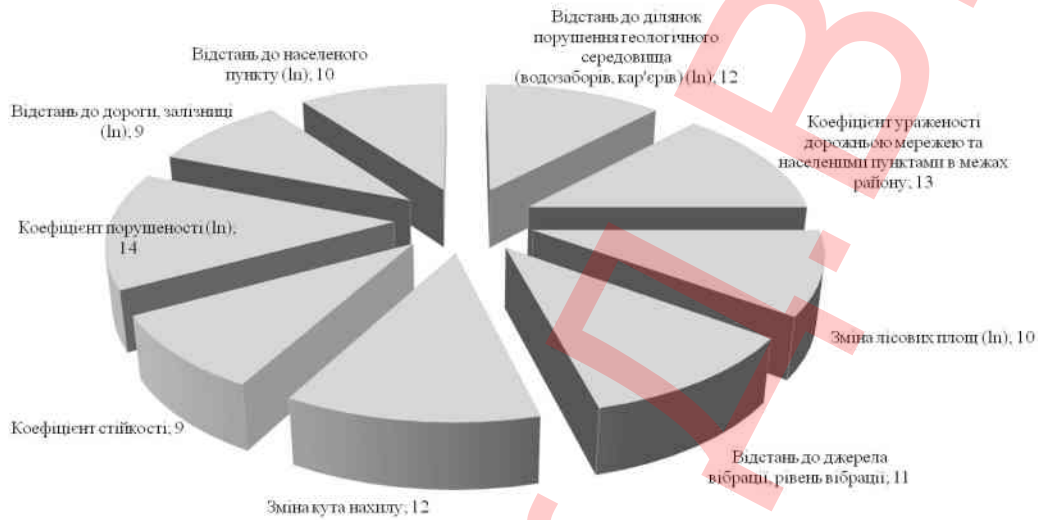


Рис. 4.5. Вагові коефіцієнт інформативності факторних характеристик для техногенної складової, %

## 4.2. Карст

Шляхом визначення основних статистичних ознак і розрахунку довірчого інтервалу для природної складової факторних характеристик (табл. 4.5) встановлено, що статистичні характеристики розподілів ведуть до зменшення основних статистичних параметрів у межах довірчого інтервалу.

Розглянуті в таблиці результати аналізу з використанням коефіцієнта Стюдента, як найбільш поширеного для обмежених за об'ємом вибірок дозволила вилучити значення, що не входять у довірчий інтервал. Відносна похибка не перевищує 5%, тобто рівень достовірності значень вибірки становить понад 95%. Регуляризація даних у цих випадках вплинула на зміну закону розподілу тільки для факторних характеристик під номерами 5, 6, 8, 9. Відповідність решти факторних характеристик нормальному закону підтверджує достовірність їх даних.

Оскільки функціональні залежності між досліджуваними параметрами в переважній більшості випадків невідомі, дуже складні та недостатньо вивчені, то використання кореляційного аналізу є важливим для моделювання (прогнозування) геологічних процесів.

Таблиця 4.5

## Дані статистичного аналізу факторних характеристик (природна складова)

	Середнє значення вибірки, $\bar{X}_{sp}$	Стандартне відхилення, $S$	Стандартне відхилення середнього, $S_{cp}$	Коефіцієнт Стьюдента, (5%, n-1), $t$	Довірчий інтервал, $DI=t \cdot S_{cp}$	Відносна похибка, $\delta$ (%)	Довірчий інтервал (95%), $X$
Коефіцієнт ураженості літофаціальної зони, геологічної свити (1)	0,0898	0,5928	0,0127	1,9611	0,025	5,7864	0,3677± 0,025
Коефіцієнт ураженості в межах району (в т.ч. іншими ЕГП) (2)	0,9348	0,4932	0,0106	1,9611	0,0208	2,2215	0,9570± 0,0208
Кількість (інтенсивність) опадів (3)	649,539	15,8484	0,3403	1,9611	0,6673	0,1027	649,540± 0,6673
Відстань до тектонічного розлому (4)	10626,665	4038,5997	86,7164	1,9611	170,0559	1,6003	10626,681± 170,056
Відстань до базису ерозії (5)	619,251	437,9655	9,4039	1,9611	18,4417	2,9781	619,2808± 18,4417
Відстань до вододілу (6)	1958,5492	1409,5404	30,2655	1,9611	59,3524	3,0304	1958,5795± 59,3524
Абсолютна оцінка над рівнем моря (7)	286,1595	39,1286	0,8402	1,9611	1,6476	0,5758	286,1653± 1,6476
Кут нахилу денної поверхні (8)	1,1754	1,0186	0,0219	1,9611	0,0429	3,649	1,2119± 0,0429
Відстань до найближчого прояву (9)	3748,8664	3015,3824	64,746	1,9611	126,9706	3,3869	3748,9003± 126,9706
Експозиція схилу (10)	183,4896	100,3665	2,1551	1,9611	4,2262	2,3032	183,5127± 4,2262
Потужність першого від поверхні водотриву (11)	9,6266	3,2957	0,0708	1,9611	0,1388	1,4416	9,6410± 0,1388
Потужність четвертинного водоносного горизонту (12)	294,2281	24,6792	0,5299	1,9611	1,0392	0,3532	294,2316± 1,0392
Глибина залягання рівня міоценового водоносного горизонту (13)	257,3544	38,788	0,8329	1,9611	1,6333	0,6346	257,3607± 1,6333

Розрахунки матриць парних коефіцієнтів кореляції (табл. 4.6, 4.8) між факторними характеристиками дозволяють оцінити кореляційні зв'язки між групами факторних характеристик.

Таблиця 4.6

**Матриця парних коефіцієнтів кореляції між факторними характеристиками для природної складової**

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	$Rnp_i$	
Коефіцієнт ураженості літофасіальної зони, геологічної свити (1)	1,00	0,09	0,00	0,05	0,10	-	-	-	0,10	0,01	0,02	0,03	-	0,05	8
Коефіцієнт ураженості в межах району (в т.ч. іншими ЕГП) (2)	0,09	1,00	-	0,33	0,00	-	-	-	-	0,03	0,11	0,62	-	0,04	10
Кількість опадів (3)	0,00	-	1,00	0,01	-	-	0,39	0,19	0,06	0,02	-	0,05	0,41	8	
Відстань до тектонічного розлому (4)	0,05	0,33	0,01	1,00	0,07	-	0,00	0,08	-	0,08	0,21	0,18	0,00	6	
Відстань до базису ерозії (ln) (5)	0,10	0,00	-	0,07	1,00	-	0,10	0,04	0,01	0,01	0,23	0,06	0,04	5	
Відстань до вододілу (ln) (6)	-	-	-	-	-	1,00	-	0,17	-	-	0,08	-	-	8	
Абсолютна оцінка над рівнем моря (7)	0,05	0,03	0,39	0,00	0,10	0,11	1,00	0,08	0,08	0,05	0,09	0,19	0,97	10	
Кут нахилу денної поверхні (ln) (8)	-	-	0,19	0,08	0,04	0,17	0,08	1,00	-	-	0,06	-	0,08	9	
Відстань до найближчого опроряду (ln) (9)	0,10	-	0,06	-	0,01	-	0,08	-	1,00	0,05	-	-	0,07	6	
Експозиція схилу (10)	0,01	0,03	0,02	0,08	0,01	-	-	-	0,05	1,00	0,04	0,02	-	4	
Потужність першого від поверхні водотриву (11)	0,02	0,11	-	0,21	0,23	0,08	0,09	0,06	-	0,04	1,00	0,20	0,08	7	
Потужність четвертинного водоносного горизонту (12)	0,03	0,62	0,05	0,18	0,06	-	0,19	-	-	0,02	0,20	1,00	0,19	10	
Глибина залягання рівня міоценового водоносного горизонту (13)	-	-	0,41	0,00	0,04	-	0,97	0,08	0,07	-	0,08	0,19	1,00	10	

Істотні значення між випадковими величинами можуть бути пояснені впливом прихованих (інших) факторів; компенсація ж тільки зменшить їх реальний зв'язок, що може свідчити про наявний тісний причинно-наслідковий зв'язок між парами факторних характеристик.

Результати аналізу техногенної складової (табл. 4.7) з використанням коефіцієнта Стьюдента дозволили вилучити значення, що не входять у довірчий інтервал.

Таблиця 4.7

**Дані статистичного аналізу факторних характеристик (техногенна складова)**

	X <sub>ср</sub>	S	S <sub>ср</sub>	t	ДІ	δ (%)	X
Відстань до ділянок порушення геологічного середовища (водозаборів, кар'єрів) (1)	7468,6107	2842,5551	61,035	1,9611	119,6933	1,6026	7468,6268± 119,6933
Коефіцієнт ураженості дорожньою мережею та населеними пунктами в межах району (2)	0,8504	0,1751	0,0038	1,9611	0,0074	0,8669	0,8590± 0,0074
Зміна лісових площ (ln) (3)	1776,1144	990,8327	21,275	1,9611	41,7216	2,349	1776,1378± 41,7216
Відстань до джерела вібрації, рівень вібрації (4)	9,2564	7,7467	0,1663	1,9611	0,3262	3,524	9,2917± 0,3262
Зміна кута нахилу (5)	1,6403	0,5127	0,011	1,9611	0,0216	1,3161	1,6535± 0,0216
Коефіцієнт стійкості (6)	0,7082	0,9133	0,0196	1,9611	0,0385	5,4333	0,7625± 0,0385
Коефіцієнт порушеності (7)	290,6843	38,675	0,8304	1,9611	1,6285	0,5602	290,6899± 1,6285
Відстань до дороги, залізниці (8)	835,0037	626,9873	13,4626	1,9611	26,401	3,1618	835,0353± 26,4010
Відстань до населеного пункту (9)	734,2395	673,3833	14,4588	1,9611	28,3546	3,8618	734,2781± 28,3546

При цьому відносна похибка не перевищує 5%, тобто рівень достовірності значень вибірки становить понад 95%. Регуляризація даних у цих випадках вплинула на зміну закону розподілу тільки для факторної характеристики «Зміна лісових площ (ln)». Відповідність решти факторних характеристик логнормальному

закону підтверджує правильність вибору факторів та достовірність розрахункових даних.

Дані таблиці матриці парних коефіцієнтів кореляції для техногенної складової (табл. 4.8) підтверджують наявність тісних причинно-наслідкових зв'язків між парами факторних характеристик. Найнижчих значень вони досягають для факторних характеристик під номерами 1, 3, 8, 9. Існування такого зв'язку між іншими складовими техногенних факторів може пояснюватися не тільки високим кореляційним зв'язком фактичних картографічних даних, а й нашими уявленнями про фізику процесів активізації та розвитку карсту.

Таблиця 4.8

**Матриця парних коефіцієнтів кореляції між факторними характеристиками для техногенної складової**

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	$R_{np_i}$
Відстань до ділянок порушення геологічного середовища (водозаборів, кар'єрів) (1)	1,00	- 0,05	0,08	- 0,04	- 0,05	- 0,05	0,04	0,02	- 0,18	8
Коефіцієнт ураженості дорожньою мережею та населеними пунктами в межах району (2)	- 0,05	1,00	0,01	0,99	1,00	1,00	0,83	0,05	0,06	15
Зміна лісових площ (ln) (3)	0,08	0,01	1,00	0,00	0,00	0,00	-	-	-	6
Відстань до джерела вібрації, рівень вібрації (4)	- 0,04	0,99	0,00	1,00	0,99	0,99	0,82	0,19	0,10	15
Зміна кута нахилу (5)	- 0,05	1,00	0,00	0,99	1,00	1,00	0,83	0,05	0,06	15
Коефіцієнт стійкості (6)	- 0,05	1,00	0,00	0,99	1,00	1,00	0,83	0,05	0,06	15
Коефіцієнт порушеності (7)	0,04	0,83	- 0,05	0,82	0,83	0,83	1,00	0,04	0,10	14
Відстань до дороги, залізниці (8)	0,02	0,05	- 0,05	0,19	0,05	0,05	0,04	1,00	0,35	6
Відстань до населеного пункту (9)	- 0,18	0,06	- 0,04	0,10	0,06	0,06	0,10	0,35	1,00	6

Вагові коефіцієнт інформативності факторних характеристик для техногенної складової (табл. 4.8) є рівноцінними за своїм впливом. Факторні характеристики “Відстань до ділянок порушення геологічного середовища (водозаборів, кар'єрів)”, “Зміна лісових площ (ln)”, “Відстань до дороги, залізниці”, “Відстань до населеного пункту”, які не досягали високих значень кореляційного зв'язку, мають право на існування. Дані факторні характеристики справді не значно впливають на розвиток чи активізацію карсту, оскільки вони відображають лише частковий вплив людини, не враховуючи при цьому особливості розвитку карсту та все ж мають право на існування.

### 4.3 Селі

#### *Природна складова.*

Аналізуючи одержані результати статистичного аналізу (табл. 4.9), можна зробити висновки, що вилучення ураганних значень призводить до зменшення значень критерія Колмогорова-Смірнова, які розглянуті у таблиці. Для факторних характеристик під номерами 3,6,10 закон розподілу, що стояв на другому місці, став на перше, регуляризація даних у п'яти випадках вплинула на зміну закону розподілу, перевищивши критичне значення критерію Колмогорова-Смірнова для вибірки факторної характеристики.

При цьому, регуляризація даних значно впливає на зміну закону розподілу. Зменшення об'єму при відсутності ураганних значень у цілому позитивно позначається на достовірності визначенні закону розподілу, а з другої – відбувається «штучно», за рахунок процедур інтерполяції чи екстраполяції, не за рахунок реальних картографічних розрахункових даних.

При подальшому аналізі важливим етапом є перетворення значень факторних характеристик так, щоб закони розподілу даних відповідали нормальному закону розподілу. Для приведення закону розподілу до теоретичного слід прологарифмувати значення факторної характеристики та представити відповідні їм гістограми розподілів абсолютних значень і логарифмів факторних характеристик та

їхні теоретичні аналоги для нормального (природна) та логнормального (техногенна) закону розподілу (рис. 4.6).

Таблиця 4.9

**Дані статистичного аналізу факторних характеристик (природна складова)**

№	Факторна характеристика	Середнє значення	Середньо-квдратичне відхилення	Закон розподілу	Розрахункове значення критерію Колмогорова-Смірнова					Критичне значення
					1	2	3	4	5	
1	Коефіцієнт ураженості літофаціальної зони, геологічної свити	1,447	0,538	1	0,230	0,280	0,257	0,357	0,385	0,240
2	Коефіцієнт ураженості в межах району (в т.ч. іншими ЕГП)	10,444	10,464	2,1	0,250	0,203	0,278	0,286	0,295	0,268
3	Кількість (інтенсивність) опадів	769,792	138,664	2,3,1	0,240	0,204	0,215	0,541	0,424	0,247
4	Відстань до тектонічного розлому	1082,494	2342,224	1	0,322	0,449	0,450	0,489	0,756	0,340
5	Відстань до базису ерозії	239,400	501,928	1,4	0,323	0,351	0,364	0,329	0,762	0,330
6	Відстань до вододілу	1228,297	880,753	2,1,3	0,138	0,142	0,073	0,158	0,500	0,154
7	Абсолютна оцінка над рівнем моря	710,833	258,241	1,2,3	0,062	0,073	0,067	0,318	0,395	0,098
8	Кут нахилу денної поверхні	3,853	2,646	5,1	0,144	0,345	0,284	0,217	0,132	0,158
9	Відстань до найближчого прояву	2476,368	2397,702	1,3,4	0,189	0,208	0,190	0,196	0,542	0,203
10	Експозиція схилу	166,302	105,424	3,1,2	0,103	0,130	0,096	0,181	0,354	0,120
11	Глибина залягання рівня міоценового водоносного горизонту	724,110	282,597	1	0,067	0,085	0,975	0,311	0,354	0,069

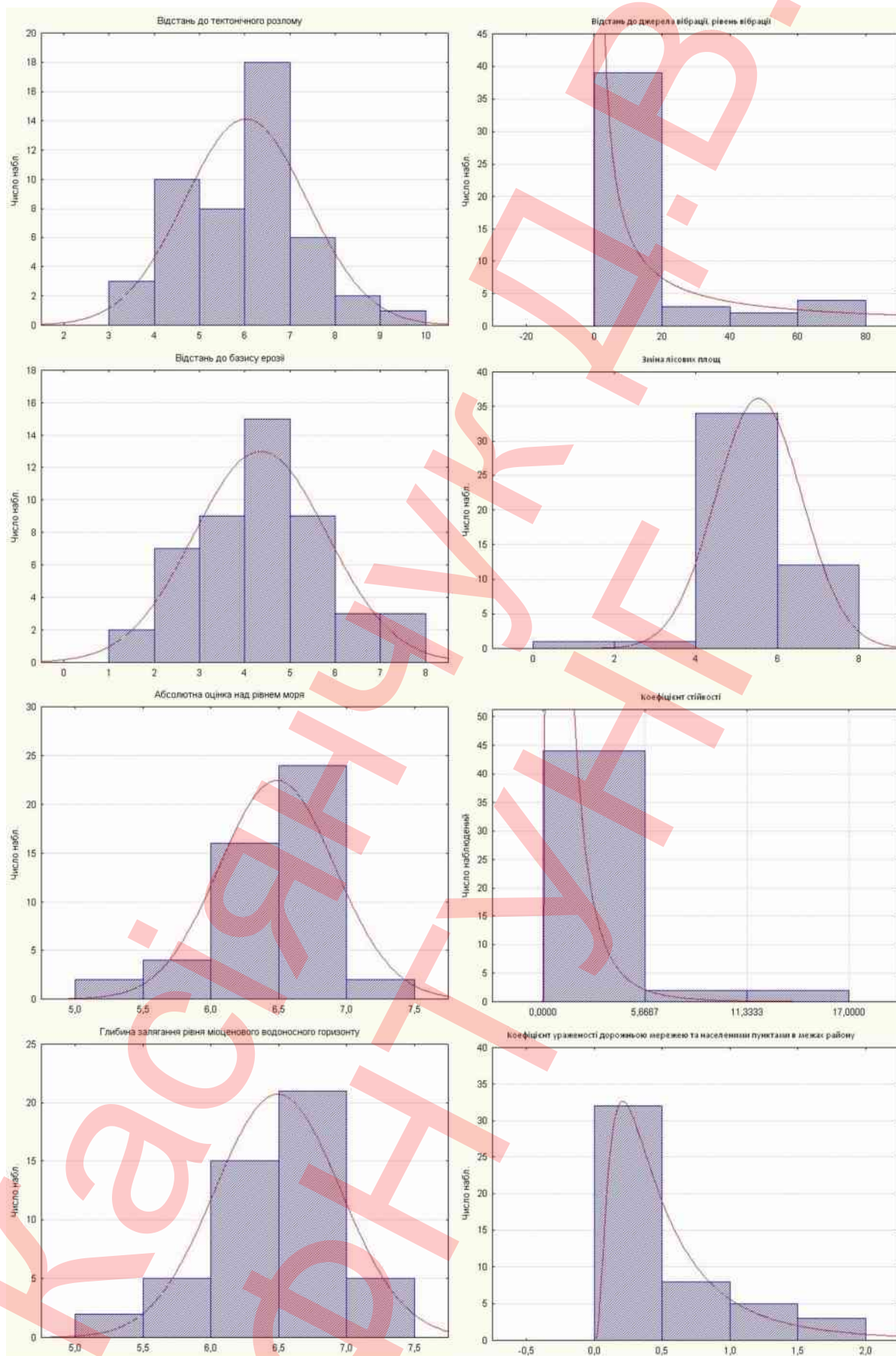


Рис. 4.6. Гістограми логарифмів факторних характеристик і їхні теоретичні аналоги

а) природна; б) техногенна складова



Виявлення дублюючих факторів на даному етапі є важливим, але з іншого боку потрібно не забувати про різну природу факторів та формалізований математичний шлях розрахунку.

Часто зв'язок між різними факторами та їх факторними характеристиками при аналізі геологічного середовища взагалі не піддається поясненню з генетичного чи причинно-наслідкового поглядів, оскільки спостережувані взаємозалежності можуть бути пов'язані не з досліджуваними геологічними процесами, а, наприклад, з методикою вимірювання або іншими причинами. З іншого боку, вивчення взаємозв'язків між факторними характеристиками за допомогою кореляційного та кластерного аналізів сприятиме виявленню та глибшому розумінню фізики явища, визначенню найбільш інформативних факторних характеристик, що впливають на досліджуваний процес.

Оскільки в переважній більшості випадків функціональні залежності між досліджуваними параметрами невідомі, дуже складні та недостатньо вивчені, то статистичні методи (кореляційний аналіз) є важливими для опису та моделювання (прогнозування) геологічних процесів.

У таблицях 4.10 та 4.13 наведені відповідні розрахунки матриць парних коефіцієнтів кореляції між факторними характеристиками, з виділенням курсивом істотних значень. Використання у розрахунках матриць парної, а не множинної кореляції пояснюється наступним. По-перше, матриця парної кореляції найпростіша для дослідження, решта побудована на її основі; по-друге, парний коефіцієнт кореляції стосується лінійної моделі (просторового прогнозування селів) зв'язку між даними, у складніших випадках досліджують множинну кореляцію (часове прогнозування селів), по-друге, відповідні матриці парних та множинних коефіцієнтів кореляційні для природної та техногенної складової не відрізняються.

Істотні значення між випадковими величинами можуть бути пояснені впливом прихованих (інших) факторів; компенсація ж тільки зменшить її реальний зв'язок, що може свідчити про наявний тісний причинно-наслідковий зв'язок між парами факторних характеристик.

**Матриця парних коефіцієнтів кореляції між факторними характеристиками для природної складової**

Факторна характеристика	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Коефіцієнт ураженості літофаціальної зони, геологічної свити (1)	1,00	0,50	0,48	-0,11	-0,08	-0,28	0,61	0,27	-0,11	-0,20	0,62
Коефіцієнт ураженості в межах району (в т.ч. іншими ЕГП) (2)	0,50	1,00	0,34	-0,39	0,20	-0,09	0,60	0,30	-0,01	-0,19	0,60
Кількість (інтенсивність) опадів (ln) (3)	0,48	0,34	1,00	-0,01	0,03	-0,18	0,39	0,32	-0,04	-0,33	0,38
Відстань до тектонічного розлому (ln) (4)	-0,11	-0,39	-0,01	1,00	-0,15	0,13	-0,42	-0,10	-0,17	0,23	-0,40
Відстань до базису ерозії (ln) (5)	-0,08	0,20	0,03	-0,15	1,00	0,08	0,29	-0,04	0,48	-0,15	0,28
Відстань до вододілу (ln) (6)	-0,28	-0,09	-0,18	0,13	0,08	1,00	-0,49	-0,28	0,09	0,31	-0,48
Абсолютна оцінка над рівнем моря (ln) (7)	0,61	0,60	0,39	-0,42	0,29	-0,49	1,00	0,57	0,03	-0,41	1,00
Кут нахилу денної поверхні (8)	0,27	0,30	0,32	-0,10	-0,04	-0,28	0,57	1,00	-0,23	-0,25	0,59
Відстань до найближчого прояву (ln) (9)	-0,11	-0,01	-0,04	-0,17	0,48	0,09	0,03	-0,23	1,00	-0,15	0,03
Експозиція схилу (ln) (10)	-0,20	-0,19	-0,33	0,23	-0,15	0,31	-0,41	-0,25	-0,15	1,00	-0,41
Глибина залягання рівня міоценового водоносного горизонту (ln) (11)	0,62	0,60	0,38	-0,40	0,28	-0,48	1,00	0,59	0,03	-0,41	1,00

*Примітка:* ln – натуральний логарифм

Аналізуючи результати матриці парних коефіцієнтів кореляції для природної складової, варто відмітити значні кореляційні зв'язки між факторними характеристиками, що підтверджує наявність тісних причинно-наслідкових зв'язків між парами факторних характеристик. Найвищих значень вони досягають для таких факторних характеристик як “Абсолютна оцінка над рівнем моря” та “Глибина

залягання рівня міоценового водоносного горизонту”, “Коефіцієнт ураженості в межах району (в т.ч. іншими ЕГП)”, “Кількість (інтенсивність) опадів”, що пояснюється не тільки істотним кореляційним зв’язком фактичних картографічних даних, а тісним зв’язком фізики процесу, на який діє природний фактор.

Дендрограми факторних характеристик для природної та техногенної складової, які наведені на рисунках 4.7 і 4.8, показують нам формальне існування тісних зв’язків, які варто було би замінити на один із групи, проте додатковий аналіз факторних навантажень методом головних компонент факторних характеристик підтвердив відсутність такого зв’язку в обох випадках.

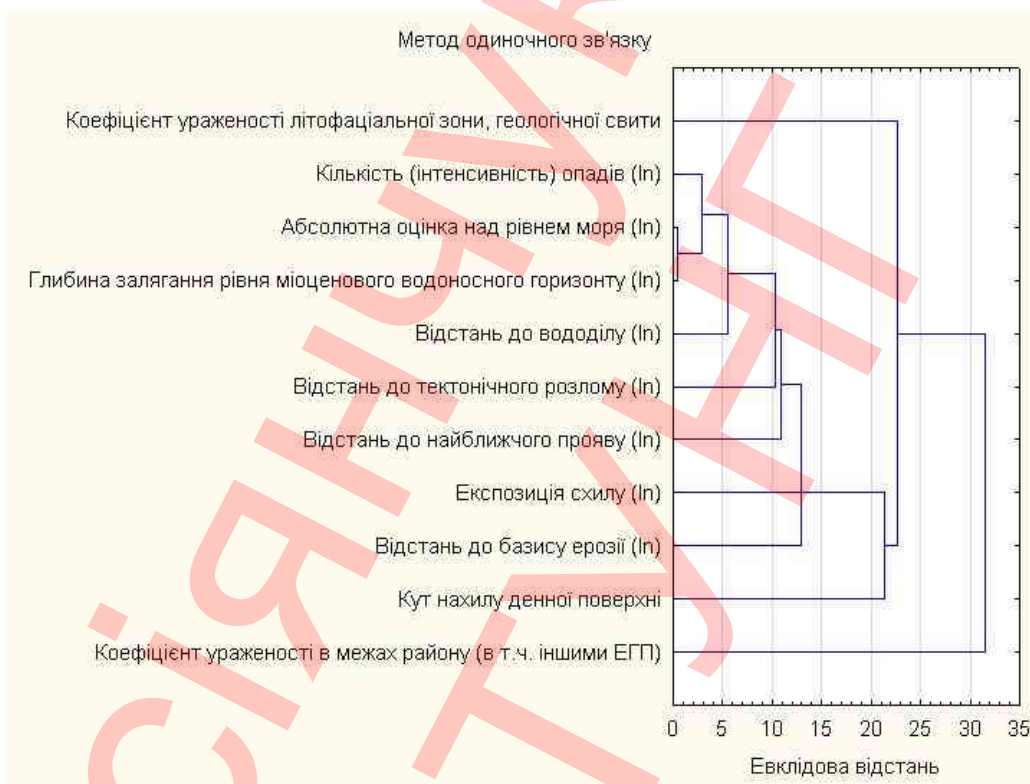


Рис. 4.7. Дендрограма еуклідових відстаней між групами факторних характеристик природної складової

Аналізуючи результати дендрограми, варто відмітити незалежність впливу факторних характеристик один від одного, наприклад “Абсолютна оцінка над рівнем моря” – “Глибина залягання рівня міоценового водоносного горизонту”, крім того вони різні з фізичної точки зору та фактичного впливу.

Не менш важливим у процесі аналізу факторів є оцінювання їхнього внеску в процес розвитку й активізації селів, тобто визначення його інформативності  $R_{np_i}$  (таблиці 4.11, 4.14) розрахованих за формулою 4.1.

Таблиця 4.11

**Вагові коефіцієнт інформативності факторних характеристик для природної складової**

Факторна характеристика	Ваговий коефіцієнт інформативності, %
Коефіцієнт ураженості літофаціальної зони, геологічної свити	10
Коефіцієнт ураженості в межах району (в т.ч. іншими ЕГП)	10
Кількість (інтенсивність) опадів (ln)	8
Відстань до тектонічного розлому (ln)	7
Відстань до базису ерозії (ln)	6
Відстань до вододілу (ln)	8
Абсолютна оцінка над рівнем моря (ln)	15
Кут нахилу денної поверхні	9
Відстань до найближчого прояву (ln)	6
Експозиція схилу (ln)	8
Глибина залягання рівня міоценового водоносного горизонту (ln)	13

З таблиці 4.11 видно, що фактори є приблизно рівноцінними за впливом. Навіть такі факторні характеристики як “Відстань до базису ерозії” та “Відстань до найближчого прояву”, які не досягали високих значень кореляційного зв'язку, мають право на існування. Це підтверджено кластерним аналізом. Розподіл інформативності факторних характеристик є приблизно рівноцінним. Порівняно високі значення інформативності “Абсолютна оцінка над рівнем моря” чи “Глибина залягання рівня міоценового водоносного горизонту”, про які ішла мова раніше, підтверджують тільки їх істотний вплив з точки зору умов формування природного явища утворення селів.

*Техногенна складова.*

Одержані результати статистичного аналізу техногенної складової з вилученням ураганих значень призводить до зменшення основних статистичних параметрів, які розглянуті у таблиці 4.12.

Таблиця 4.12

**Дані статистичного аналізу факторних характеристик (техногенна складова)**

№	Факторна характеристика	Середнє значення	Середньо-квадратичне відхилення	Закон розподілу	Розрахункове значення критерію Колгморова-Смірнова					Критичне значення
					1	2	3	4	5	
1	Відстань до ділянок порушення геологічного середовища (водозаборів, кар'єрів)	34580,42	18392,87	1,2,3	0,110	0,151	0,153	0,189	0,444	0,158
2	Коефіцієнт ураженості дорожньою мережею та населеними пунктами в межах району	0,60	0,52	2,3,1	0,242	0,155	0,190	0,261	0,456	0,252
3	Зміна лісових площ, відстань до границі лісу	391,44	596,79	3,2,1	0,256	0,170	0,142	0,262	0,562	0,259
4	Відстань до джерела вібрації, рівень вібрації	12,78	20,13	2,3,1	0,326	0,077	0,171	0,380	0,576	0,334
5	Зміна кута нахилу	6,45	2,48	2,1	0,243	0,236	0,309	0,400	0,319	0,255
6	Коефіцієнт стійкості	1,64	3,19	2,3,1,5	0,433	0,275	0,376	0,497	0,365	0,467
7	Коефіцієнт порушеності, рівень ґрунтових вод	756,08	281,77	1,3,2	0,047	0,104	0,088	0,338	0,386	0,169
8	Відстань до дороги, залізниці	982,96	1593,48	2,3,1	0,327	0,117	0,218	0,370	0,708	0,350
9	Відстань до населеного пункту	1948,97	3208,59	2,3,1	0,283	0,168	0,269	0,365	0,667	0,300

Для факторних характеристик під номерами 3, 5 закон розподілу, що стояв на другому місці, став на перше, регуляризація даних у двох випадках вплинула на зміну закону розподілу, перевищивши критичне значення для вибірки факторної характеристики.

Результуючі дані матриці парних коефіцієнтів кореляції для техногенної складової (табл. 4.13) підтверджує наявність тісних причинно-наслідкових зв'язків між парами факторних характеристик.

Таблиця 4.13

**Матриця парних коефіцієнтів кореляції між факторними характеристиками для техногенної складової**

Факторна характеристика	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Відстань до ділянок порушення геологічного середовища (водозаборів, кар'єрів) (ln) (1)	1,00	-0,72	-0,32	0,40	0,79	-0,24	0,85	0,31	0,63
Коефіцієнт ураженості дорожньою мережею та населеними пунктами в межах району (2)	-0,72	1,00	0,25	-0,31	-0,95	0,36	-0,81	-0,18	-0,43
Зміна лісових площ (ln) (3)	-0,32	0,25	1,00	0,37	-0,24	0,02	-0,27	0,26	0,05
Відстань до джерела вібрації, рівень вібрації (4)	0,40	-0,31	0,37	1,00	0,34	-0,04	0,39	0,81	0,75
Зміна кута нахилу (5)	0,79	-0,95	-0,24	0,34	1,00	-0,33	0,83	0,17	0,43
Коефіцієнт стійкості (6)	-0,24	0,36	0,02	-0,04	-0,33	1,00	-0,41	0,08	-0,14
Коефіцієнт порушеності (ln) (7)	0,85	-0,81	-0,27	0,39	0,83	-0,41	1,00	0,32	0,59
Відстань до дороги, залізниці (ln) (8)	0,31	-0,18	0,26	0,81	0,17	0,08	0,32	1,00	0,71
Відстань до населеного пункту (ln) (9)	0,63	-0,43	0,05	0,75	0,43	-0,14	0,59	0,71	1,00

Найвищих значень вони досягають для таких факторних характеристик як “Відстань до ділянок порушення геологічного середовища (водозаборів, кар'єрів)”, “Коефіцієнт порушеності”, “Відстань до джерела вібрації, рівень вібрації”, що пояснюється не тільки істотним кореляційним зв'язком фактичних картографічних даних, а й нашими уявленнями про фізику процесів активізації та розвитку селів.

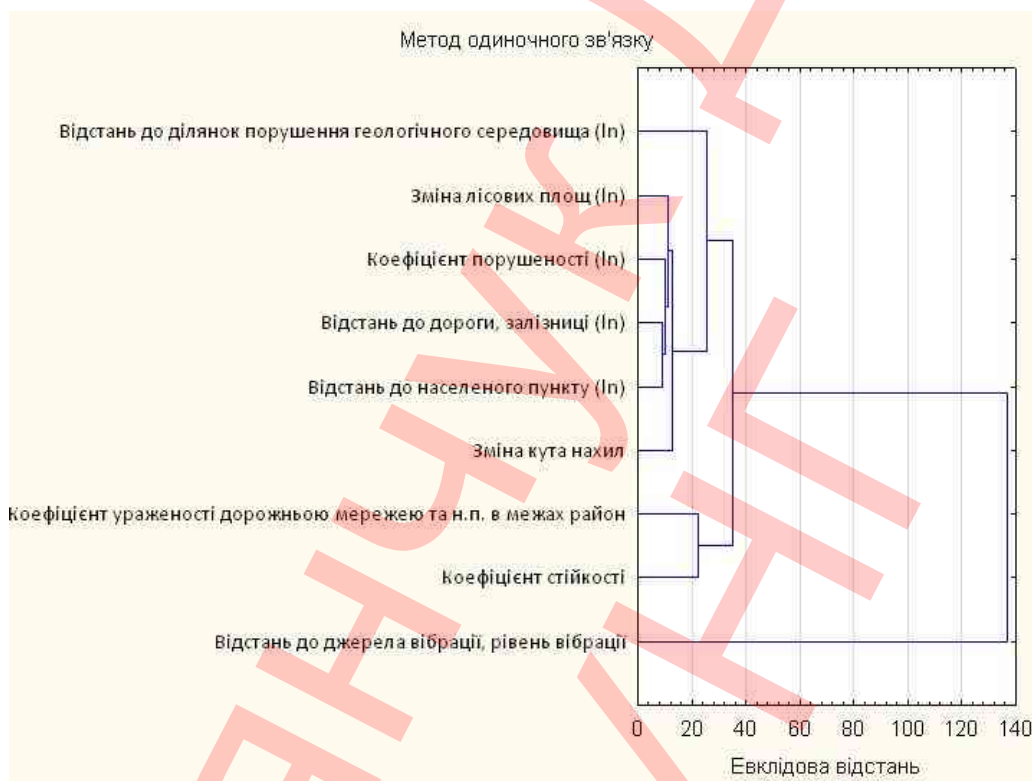


Рис. 4.8. Дендрограма еуклідових відстаней між групами факторних характеристик техногенної складової

Дендрограма результатів аналізу еуклідових відстаней вказує на існування тісного зв'язку між групами факторів, варто відмітити незалежність впливу факторних характеристик один від одного, наприклад “Відстань до дороги, залізниці” – “Відстань до населеного пункту”. Факторна характеристика “Відстань до джерела вібрації, рівень вібрації” на дендрограмі характеризується найбільшою відстанню відносно основних груп. Це пояснюється тим, що в розрахунку брались значення, які широко варіюють у вібраційній здатності для різних видів господарських об'єктів. Дані факторні характеристики дійсно є подібними, але не варто забувати про їх різну техногенну складову, через яку і здійснюється вплив

фактора.

Результати вагових коефіцієнтів інформативності як для техногенної, так і для природної складової знаходяться приблизно в однакових відсоткових значеннях. Наявність не сильно розподілених за інформативністю даних дозволяє у подальшому використовувати дані факторні характеристики для побудов та удосконалень існуючих систем прогнозування, та оцінки їх ризиків. Однак, вагові коефіцієнти є лише оціночні значення, які ми інтерпретуємо для подальших оцінок ризиків.

Таблиця 4.14

**Вагові коефіцієнт інформативності факторних характеристик для техногенної складової**

Факторна характеристика	Ваговий коефіцієнт інформативності, %
Відстань до ділянок порушення геологічного середовища (водозаборів, кар'єрів) (ln)	13
Коефіцієнт ураженості дорожньою мережею та населеними пунктами в межах району	13
Зміна лісових площ (ln)	7
Відстань до джерела вібрації, рівень вібрації	11
Зміна кута нахилу	13
Коефіцієнт стійкості	7
Коефіцієнт порушеності (ln)	13
Відстань до дороги, залізниці (ln)	9
Відстань до населеного пункту (ln)	12

Аналізуючи дані таблиці коефіцієнтів інформативності (таблиця 4.14) слід відмітити їх приблизно рівноцінний ваговий вплив. Факторні характеристики “Коефіцієнт стійкості” та “Зміна лісових площ”, не володіючи високими значеннями кореляційного зв'язку, мають право на існування, що підтверджено даними додаткового кластерного аналізу. Однак їх незалежність та важливість є очевидною,



оскільки вони нарізно описують умови формування техногенного явища утворення селів, включаючи математичну складову опису та розрахунку факторної характеристики.

Як і для зсувів та карсту, говорити про взаємовплив або повторюваність факторних характеристик між складовими не можна, що, по-перше, підтверджено відповідним статистичним аналізом, по-друге, вибір факторної характеристики проводився з урахуванням фізики явища, по-третє, результуючі значення інформативності не дають окремій факторній характеристиці переважати у сформованій структурі групи факторів.

#### **Висновки до розділу 4.**

1. За результатами статистичного аналізу досліджено та обґрунтовано вибір основних факторних характеристик для аналізу ЕГП.

2. Виявлення взаємовпливу або повторюваності факторних характеристик між складовими є дуже важливим, оскільки за подальшого аналізу вага факторної характеристики може помилково надати перевагу модельованому процесу в точці, де цей вплив неможливий.

3. Відсутність зв'язку факторів підтверджено відповідним статистичним аналізом, а також вибором факторних характеристик, який проводився з урахуванням фізики явища, окрім того, вагові значення інформативності не дають окремій факторній характеристиці переважати у сформованій структурі групи факторів.

5. Таким чином, аналіз та розв'язок сформованих задач, дає передумови для подальших їх досліджень в удосконаленні існуючих систем прогнозу та створення на їх базі моделі оцінки ризиків від проявів ЕГП.

## РОЗДІЛ 5

### ЕКОЛОГО-ГЕОЛОГІЧНА ОЦІНКА РИЗИКІВ ЕКЗОГЕННИХ ГЕОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ

#### 5.1. Методологія кількісної прогновної оцінки ризиків екзогенних геологічних процесів з використанням ГІС-технологій

Розвиток ГІС-технологій сприяв удосконаленню напрямку у прогнозуванні ЕГП, який передбачає визначення небезпеки за переважаючими ініціюючими факторами. Алгоритм оцінки передбачає розрахунок кількісних факторних характеристик у точках проявів ЕГП, статистичний аналіз отриманих рядів даних з подальшим розрахунком інтегрального показника, на основі якого створюються прогнози карти. Часовий прогноз створюється на основі статистичного аналізу часових рядів факторів із подальшим розрахунком часового інтегрального показника та його екстраполяцією.

Таким чином, кінцевим результатом зазначених досліджень є прогнози просторово-часові моделі для окремих видів екзогенних геологічних процесів – основними серед яких є зсуви, селі, карст.

Доцільним є виконання оцінки екологічної небезпеки для окремої території на основі комплексного кількісного врахування розвитку цих процесів у вигляді розрахованих ризиків. Під еколого-геологічною небезпекою слід розуміти можливість прояву ЕГП, здатних загрожувати життєдіяльності людей, наносити матеріальний збиток, негативно впливати на навколишнє середовище. Ризик – ймовірні очікувані економічні, соціальні та екологічні наслідки від прояву небезпечних ЕГП, які оцінюються по відношенню до конкретних об'єктів [125].

Основними характеристиками, що відображають ступінь небезпеки процесів, є: інтенсивність і активність їх прояву, потужність (параметри) та швидкість протікання, обумовлені значною мірою генезисом процесів [125]. 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 небезпеки є швидкість.

Вибір структури еколого-геологічної оцінки здійснювався на основі:

1) наявності літературних даних про зв'язок між ЕГП та змінами екологічного стану геологічного середовища;

2) необхідністю визначення чіткої структурованої моделі еколого-геологічної оцінки ризиків та небезпек.

Оцінка стану геологічного середовища має підпорядковуватись комплексній методико-методологічній структурі: системний підхід → системний аналіз → комплексна (інтегральна) оцінка.

Основна ідея розробки нових науково-методичних основ оцінки інтегрального ризику ЕГП заснована на принципах системного багатofакторного підходу. Під ризиком виникнення окремих ЕГП слід розуміти багатofакторну складову інтегрального ризику. При зміні набору факторів та умов, що обумовлюють виникнення ЕГП, відповідно змінюється значення ризику того чи іншого процесу, що є свідченням цілісності системи. Для забезпечення врахування багатofакторності умов формування ризиків та їх оцінок для різних територій з індивідуальним набором факторів і умов, що обумовлюють виникнення ЕГП, була розроблена схема оцінки інтегрального ризику, яка враховує напрацювання авторів у сфері просторово-часового прогнозування екзогенних геологічних процесів (рис. 5.1).

Під комплексним інтегральним показником еколого-геологічної оцінки ризиків слід розуміти суму всіх можливих ризиків від окремих ЕГП, що враховує геологічні та економічні критерії кожного з них. Тобто, стає базовим показником для ділянок із потенційним проявом того чи іншого процесу, враховуючи як ступінь активності ЕГП, так і їх факторну складову.

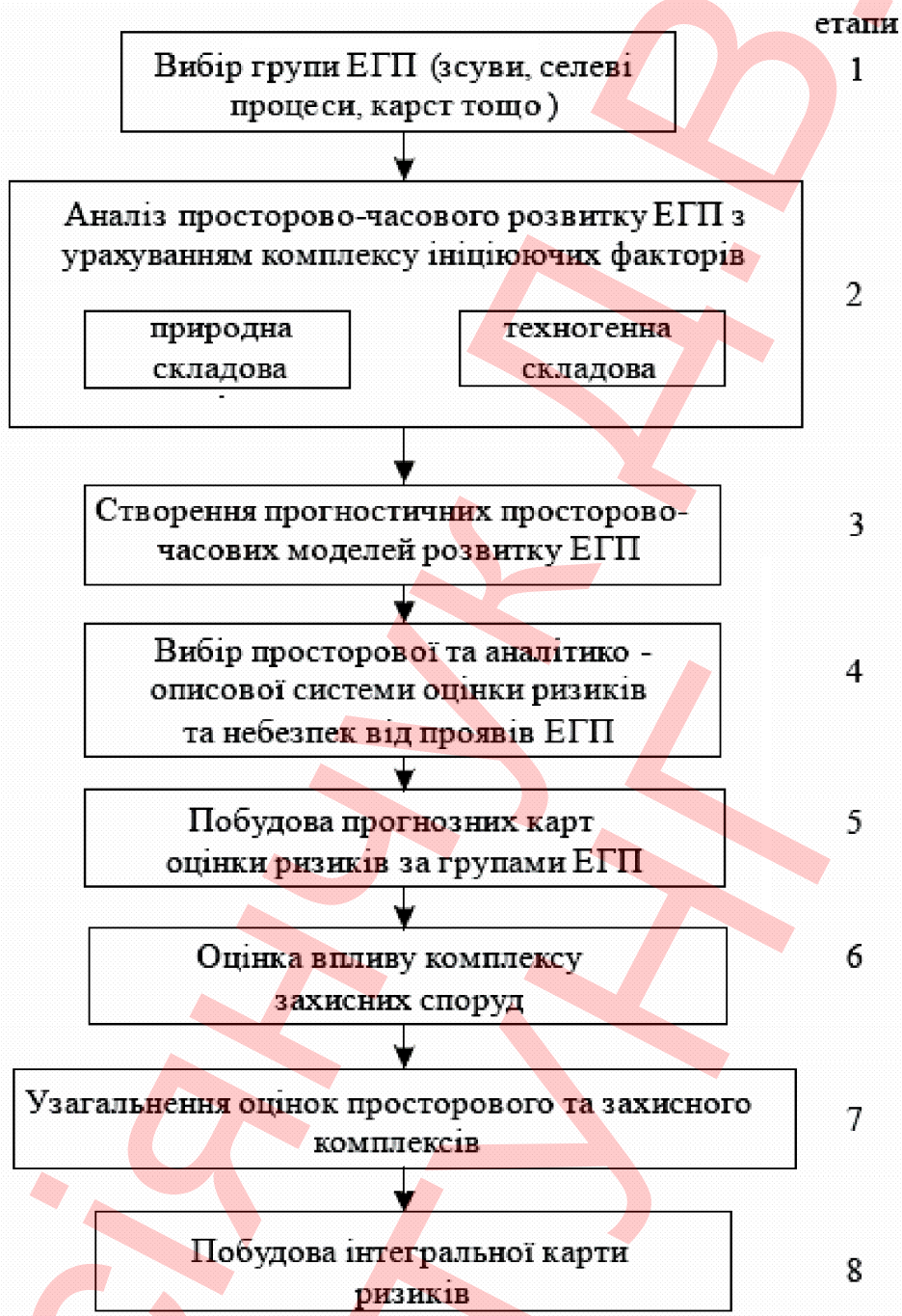


Рис. 5.1. Схема еколого-геологічної оцінки інтегрального ризику

Виходячи зі запропонованої структури, слід проаналізувати етапи оцінки інтегрального ризику:

– перші три етапи детально описані в роботах [88,126–128], третій – в роботах [11,13–18];

– четвертий має на меті визначити основні методики розрахунку ризиків;

Рядом авторів пропонується значний комплекс, що в тій чи іншій мірі багаторівнево описує ризики. Однак, найбільш універсальним, на нашу думку, є оцінка в бальній системі, яка буде конкретизована у процесі побудов оціночних

карт-полігонів.

– п'ятий і шостий етапи включають: оцінку прогнозованої просторової ураженості ЕГП, оцінку переважаючого фактора – природного чи техногенного, за внеском (інформативністю) у процес розвитку і активізації окремого прояву ЕГП, оцінку соціального навантаження – ураженість населеними пунктами, динамікою змін населення, оцінка захисних умов інженерних споруд для протидії ЕГП, який напряду залежить від часової динаміки процесів активізацій ЕГП;

– сьомий та восьмий етапи полягають у сумуванні відповідних карт-полігонів, тобто побудові інтегральних карт ризиків.

## **5.2. Розрахунок інтегральних показників, побудова карт імовірностей поширення екзогенних геологічних процесів та екологічних ризиків**

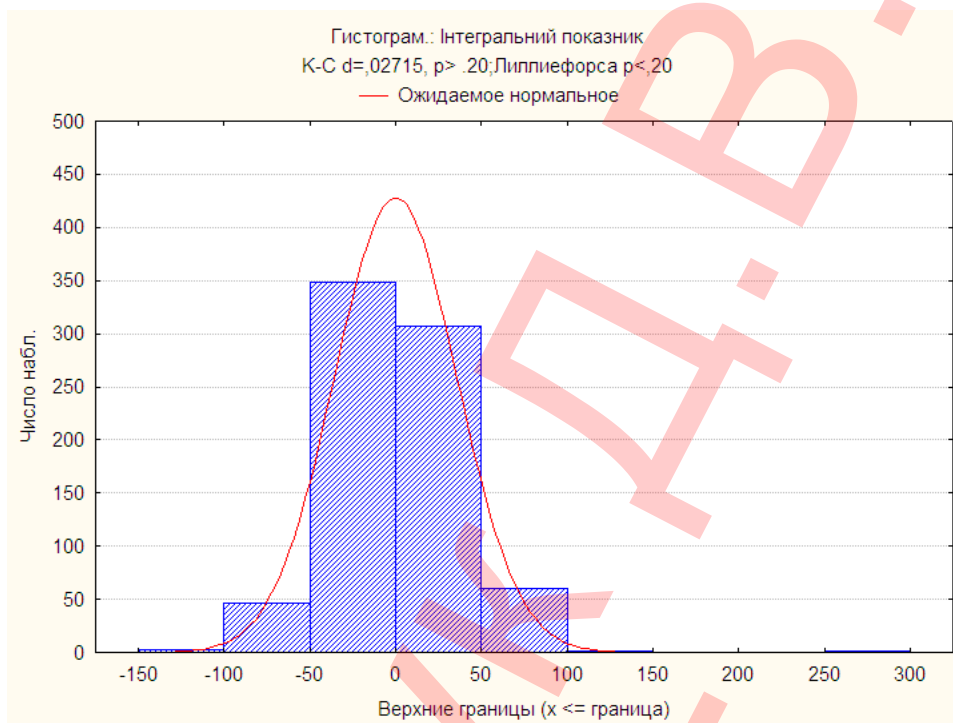
Критерієм підбору факторів активізації ЕГП є фізичні передумови, проаналізовані в літературних джерелах та запропоновані згідно з нашими уявленнями про механізм їх формування й активізації.

Аналіз розподілу факторів, алгоритм якого викладено в попередньому підрозділі, дозволяє виконати розрахунок інтегрального показника небезпеки виникнення кожного із зазначеного ЕГП як суму нормальних розподілів їх факторних характеристик. Методика таких розрахунків докладно викладена в роботах [89,90,100].

Розподіли інтегральних показників екологічної небезпеки повинні підлягати (як і обрані для розрахунків розподіли факторних характеристик) нормальному (логнормальному) закону. На рис. 5.2-5.4 представлені гістограми розподілів інтегральних показників ЕГП та їх теоретичних аналогів.

Для логнормального останні переводять в нормальний для логарифмованих значень.

природна складова



техногенна складова

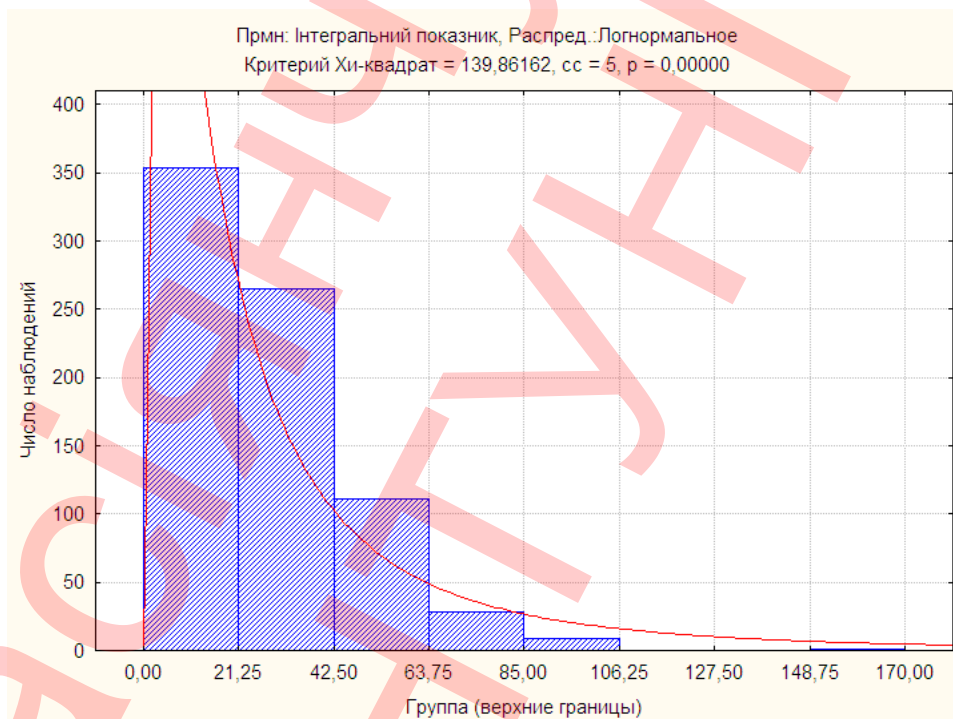


Рис. 5.2. Гістограма інтегрального показника зсувної небезпеки, розрахованого з урахуванням усіх факторів і їхніх вагових коефіцієнтів інформативності

Тоді для кожного з теоретичних аналогів кривих нормального закону розподілу ймовірність випадкової величини  $f(\Pi_{ij})$ , включаючи перерахунок усіх,

оцінюються ймовірність зсувної небезпеки в будь-якій точці обраної ділянки дослідження за формулою :

$$f(\Pi_{ij}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{\Pi_{ij}^2}{2}} \cdot \max(f(\Pi_{ij}))^{-1}. \quad (5.1)$$

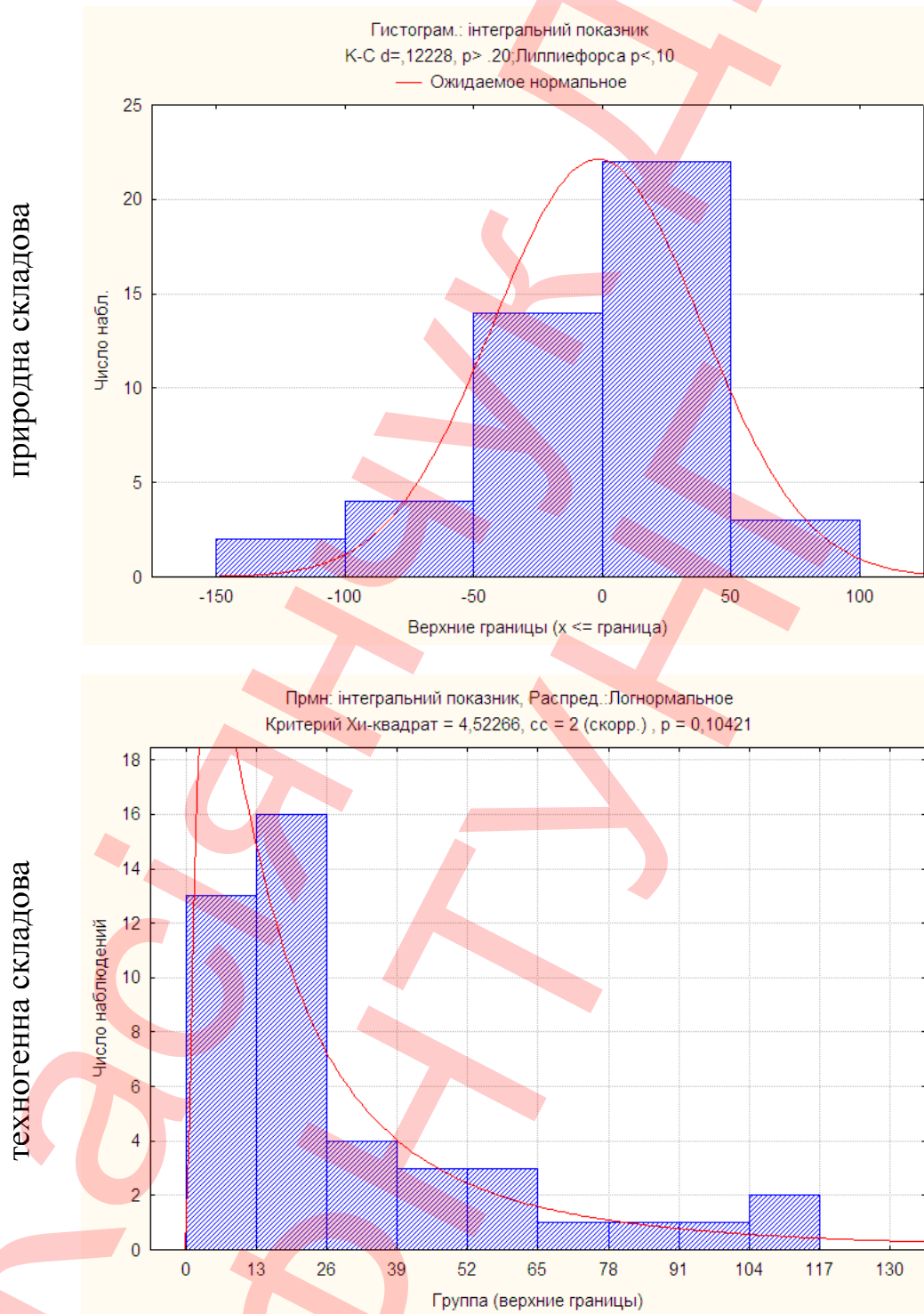


Рис. 5.3. Гістограма інтегрального показника селевої небезпеки, розрахованого з урахуванням усіх факторів і їхніх вагових коефіцієнтів інформативності

У формулі (5.1) виконаний перерахунок імовірностей таким чином, щоб її максимальне значення дорівнювало б одиниці ( $\max(f(\Pi_{ij}))^{-1}$ ), тому що це відповідає факту здійснення конкретного зсуву, карстового провалу або селю.

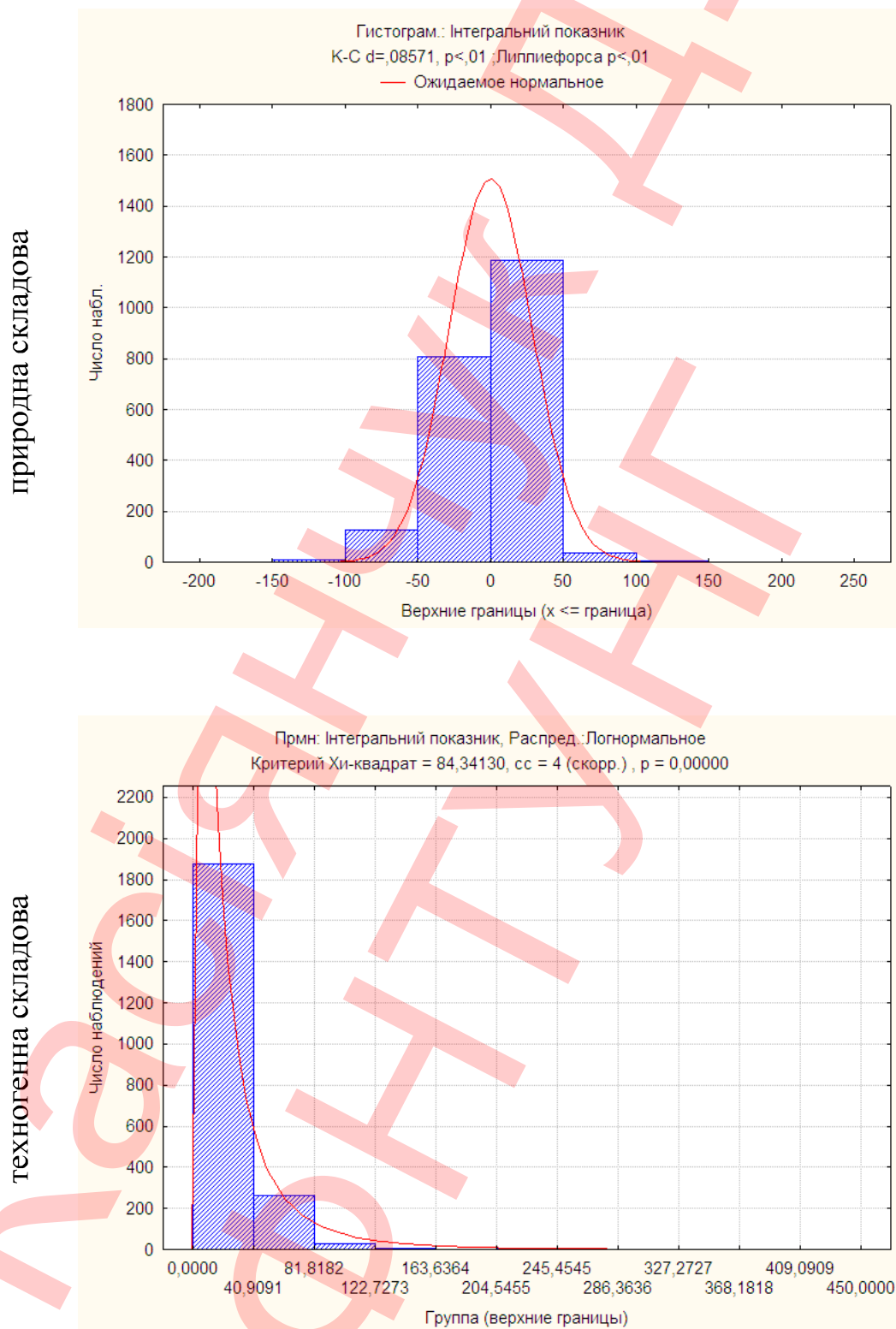


Рис. 5.4. Гістограма інтегрального показника карстової небезпеки, розрахованого з урахуванням усіх факторів і їхніх вагових коефіцієнтів інформативності



За результатами просторових розподілів факторних характеристик та розподілів зображено на рис. 5.5-5.7 побудовані відповідні карти ймовірностей екологічної небезпеки активізації та розвитку небезпечних ЕГП.

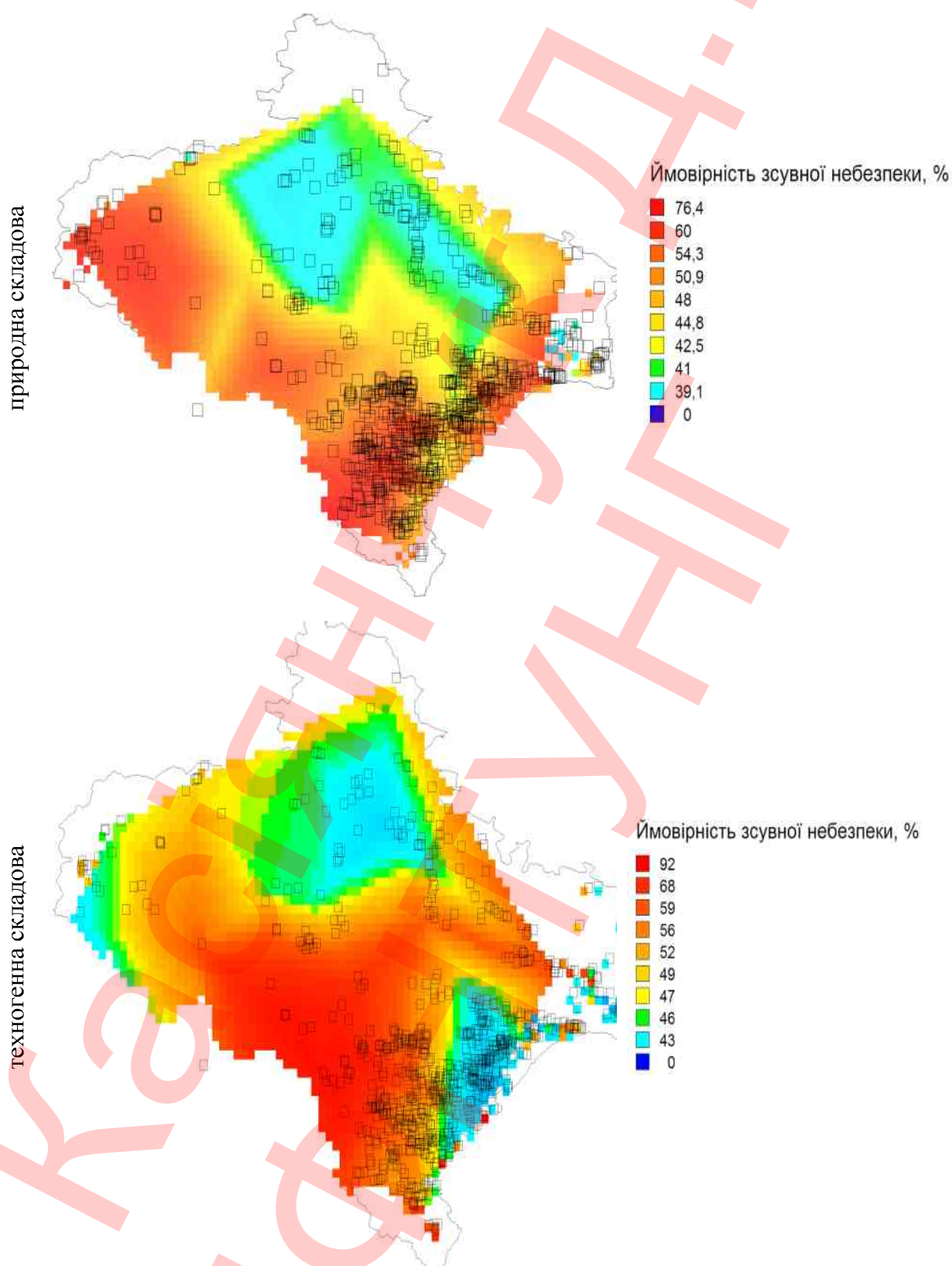


Рис. 5.5. Схематична карта ймовірності зсувної небезпеки для території Івано-Франківської області (для різних складових)

При цьому на рис. 5.6-5.7 розрахунки виконано тільки для частини територій, де розвинуті карстові та селеві процеси.

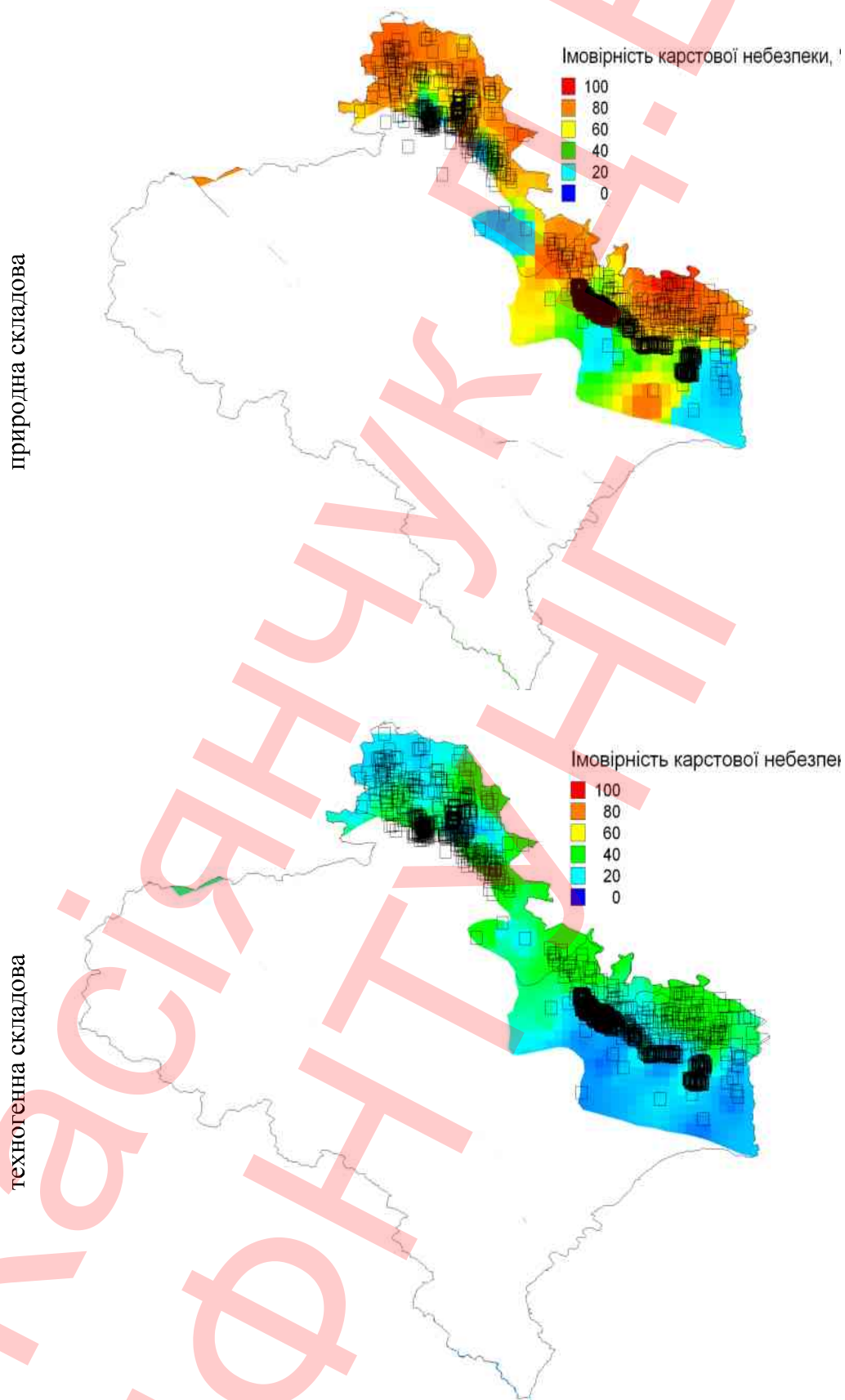
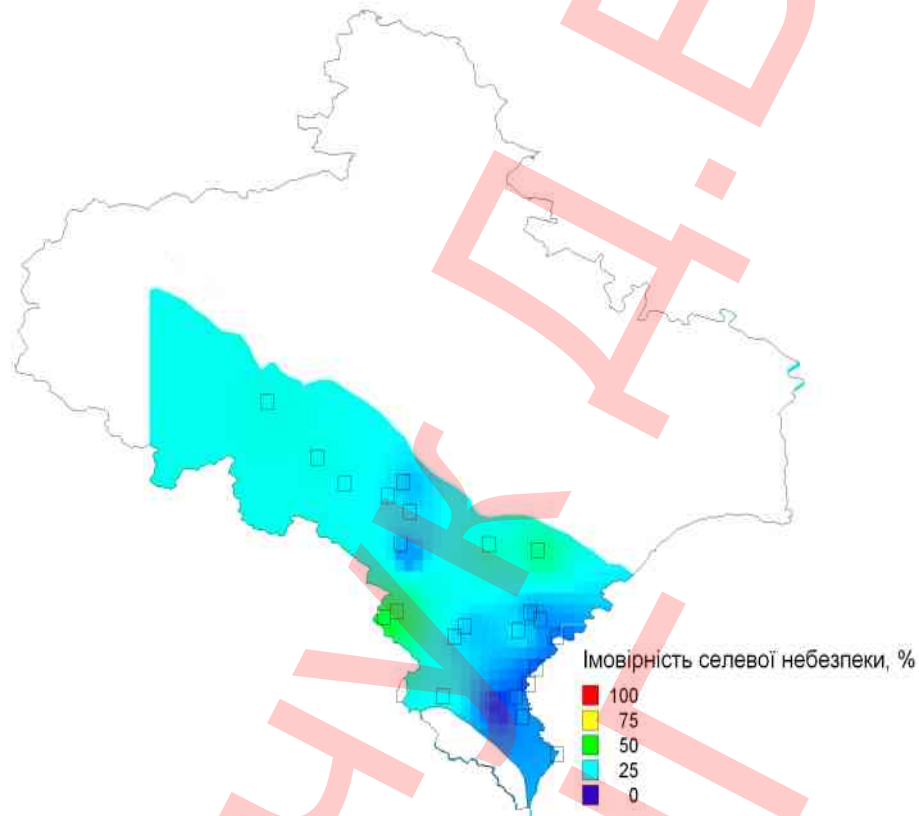


Рис. 5.6. Схематична карта ймовірності карстової небезпеки для території Івано-Франківської області (для різних складових)

природна складова



техногенна складова

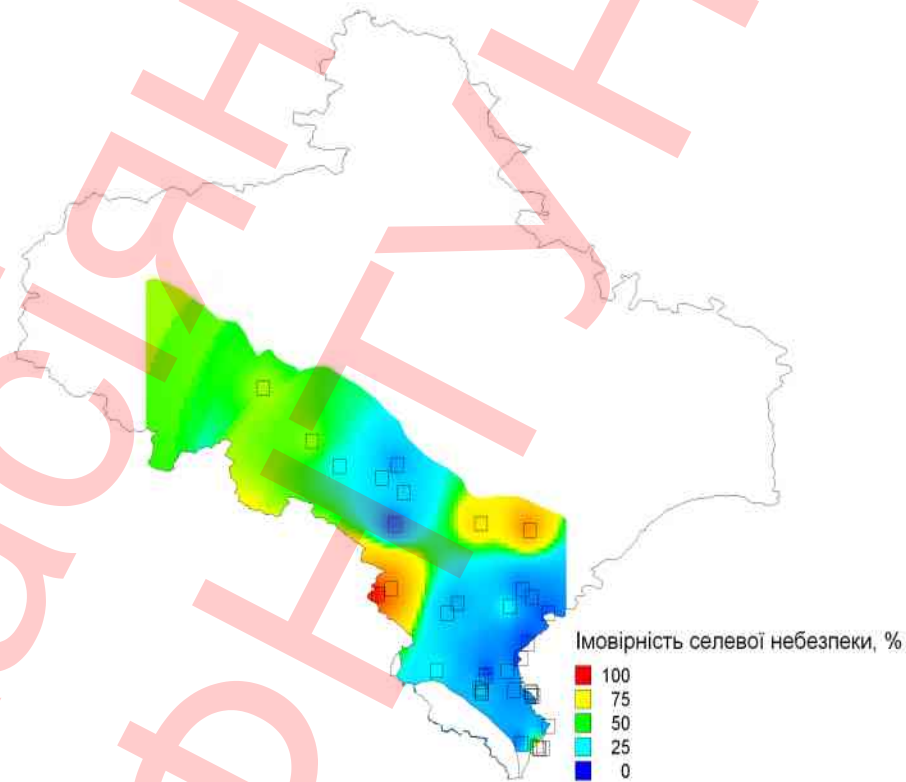


Рис. 5.7. Схематична карта ймовірності селевої небезпеки для території Івано-Франківської області (для різних складових)

Аналізуючи дані карт, варто відмітити існування значної відмінності в основних складових, які сприяють розвитку й активізації ЕГП. Розвиток зсувів у межах південно-східної частини регіону на пряму пов'язане з літологічним розрізом, у верхній частині якого переважають глини, які сприяють 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, що значно впливає на розвиток ЕГП. Імовірність значного техногенного впливу пояснюється значними вирубками лісів, перевантаженнями схилів, змінами кутів укосів тощо.

Переважання природно обумовленої складової імовірності карстової небезпеки пов'язана із поширенням на усій території порід, що здатні карстуватися, – крейдяних і вапнякових утворень. Техногенна поширеність пов'язана значною зарегульованістю гідрологічних умов.

Розвиток природних селевих процесів обумовлений значною крутизною схилів та площею водозбору, які дозволяють накопичити достатньо матеріалу для зародження осередків селеутворення. Імовірність такого поширення спостерігається в межах водорозділів басейнів річок Прут і Черемош. Техногенна складова, як і для зсувопроявів залежить від залісненості схилів, наявності гідротехнічних споруд.

Сформовані карти дозволяють оцінити таку ймовірність у будь-якій точці, а отже є аналітично змістовними та можуть бути використані для створення прогнозних ГІС-моделей оцінок еколого-геологічних ризиків.

Таким чином кінцевим результатом зазначених досліджень є прогнозні просторово-часові моделі ризиків для окремих видів екзогенних геологічних процесів. У дисертації представлені карти еколого-геологічної оцінки ризиків, розрахованих за формулою [22]

$$Rpr_{i,t} = \bar{P}_{i,t} \cdot N_i \cdot \frac{\sum_{n=1}^k s_i}{S_i^2} \cdot Z_i, \quad (5.2)$$

де  $\bar{P}_{i,t}$  – середнє значення небезпеки прояву ЕГП для і-тої ділянки,  $s_i$  - площа зсувів, карстових ділянок і конусів виносу на ділянці в кількості  $k$ ,  $S_i$  - площа

ділянки,  $N_i$  - кількість населення на ділянці,  $Z_i$  – коефіцієнт, що враховує наявність захисних об'єктів, част. од.

Відсутність захисних комплексів, що могли би послабити негативний вплив ЕГП процесів на екологічний стан та безпеку життєдіяльності людини, дозволяє нам прирівняти значення коефіцієнту  $Z$  до одиниці.

Для побудови картограм з урахуванням техногенної складової необхідно володіти інформацією про фінансове забезпечення захисних об'єктів від проявів небезпечних ЕГП, їх будівництво, реконструкцію та можливі втрати від їх негативних наслідків.

На основі побудованої карти імовірностей (на прикладі природної складової зсувної небезпеки) та формули (5.2) сформована таблиця 5.1, яка показує основні розрахункові параметри, які використані для оцінки еколого-геологічного ризику в межах адміністративно-територіального поділу області.

Таблиця 5.1 розрахунку зсувної небезпеки Івано-Франківської області на прикладі адміністративно-територіального поділу області демонструє основні параметри, які необхідно використати при побудові моделі еколого-геологічної оцінки ризиків зсувопроявів.

Окрім того, побудовані карти еколого-геологічних ризиків зсувної та карстової небезпеки на прикладі території Івано-Франківської області (рис. 5.8, 5.9) (ділянках їх значного поширення), а також запропонована картографічна просторово-часова модель ризиків для території східної частини басейну Верхньої Тиси (Закарпатська область) (рис. 5.10).

Запропонована методика оцінки ризиків від проявів ЕГП є логічним продовженням досліджень просторово-часового прогнозування розвитку ЕГП і базується на розрахунку просторових і часових комплексних показників. 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

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

Таблиця 5.1

**Еколого-геологічна оцінка ризиків зсувної небезпеки  
Івано-Франківської області**

№	Назва району	Площа району, $S_i$ , км <sup>2</sup>	Кількість населення, $N_i$ , осіб	Площа зсувів, $\sum_{n=1}^k s$ , км <sup>2</sup>	Імовірність (середня), $\bar{P}_{i,t}$	$Rpr_{i,t}$ , осіб/км <sup>2</sup>
1	Богородчанський	809,5	71739	4,192386	48,10708	0,002208
2	Верховинський	1310	27388	103,0433	54,96128	0,009038
3	Галицький	707,2	67377	6,400027	44,35085	0,003824
4	Городенківський	747,8	58416	2,791696	44,39362	0,001295
5	Долинський	1544	86048	7,528397	58,62603	0,001593
6	Калуський	693,5	130797	1,002795	40,3055	0,001099
7	Коломийський	1029	163908	34,62535	42,8469	0,022966
8	Косівський	932,1	91812	66,55808	45,66494	0,032119
9	Надвірнянський	1908	130586	11,78191	56,00569	0,002367
10	Рогатинський	832,7	49323	0,050711	43,69955	1,58E-05
11	Рожнятівський	1288	76648	0,208322	57,68643	5,55E-05
12	Снятинський	597,2	69597	22,91715	46,96559	0,021003
13	Тисменицький	838	320435	28,36974	46,13812	0,059727

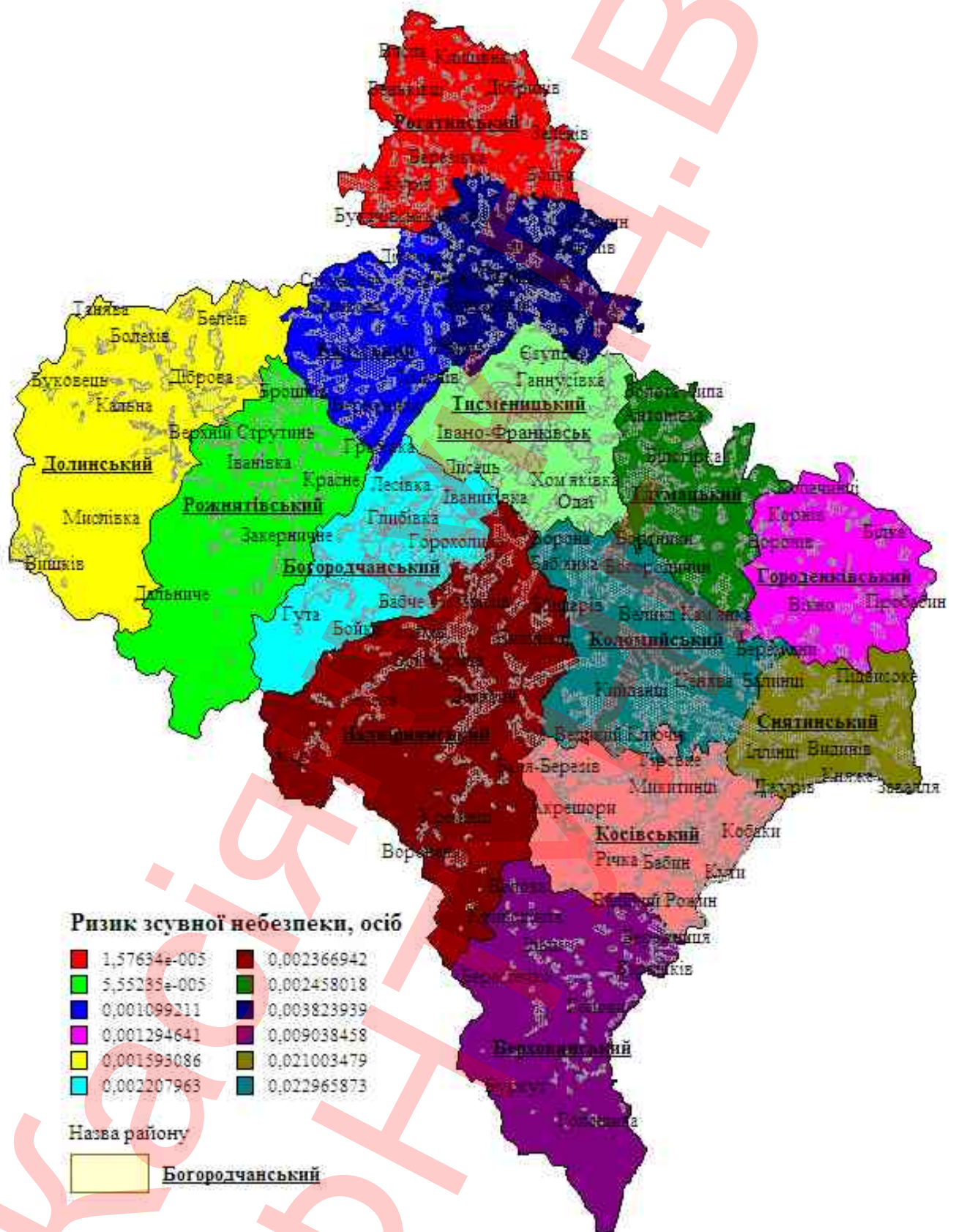


Рис. 5.8. Схематична карта еколого-геологічної оцінки ризиків зсувної небезпеки у межах адміністративних районів Івано-Франківської області

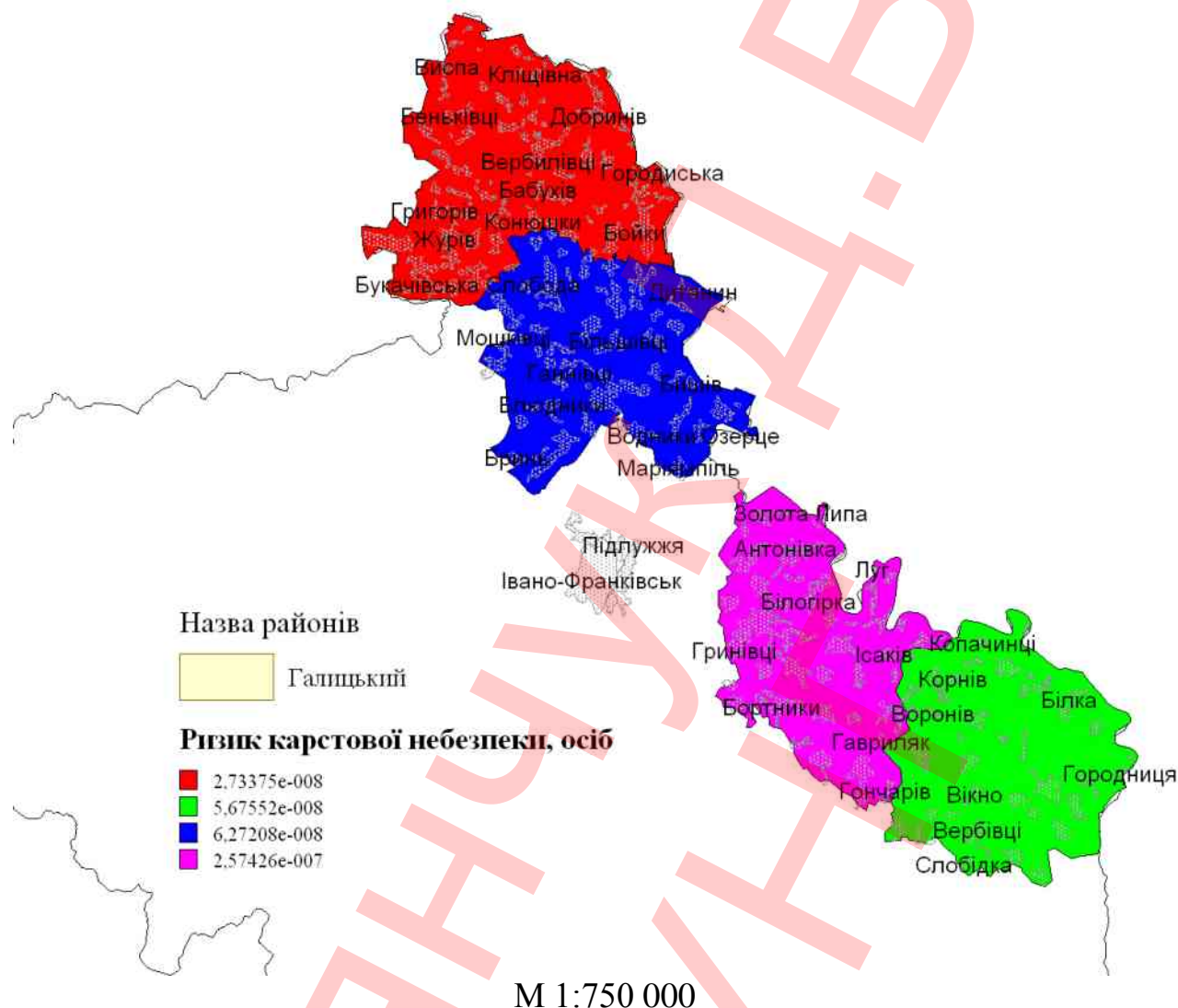


Рис. 5.9. Схематична карта еколого-геологічної оцінки ризиків карстової небезпеки у межах адміністративних районів Івано-Франківської області

Побудовані карти еколого-геологічних ризиків прояву небезпечних ЕГП дозволяють оцінити основні ризики безпеки життєдіяльності людей на території дослідження, а також дозволяють забезпечити швидке реагування для унеможливлення погіршення екологічної безпеки об'єктів. Система поєднує усі попередньо сформовані факторні характеристики просторового та часового аналізу та забезпечує передумови до створення таких оціночних моделей еколого-геологічних ризиків для всіх видів ЕГП.



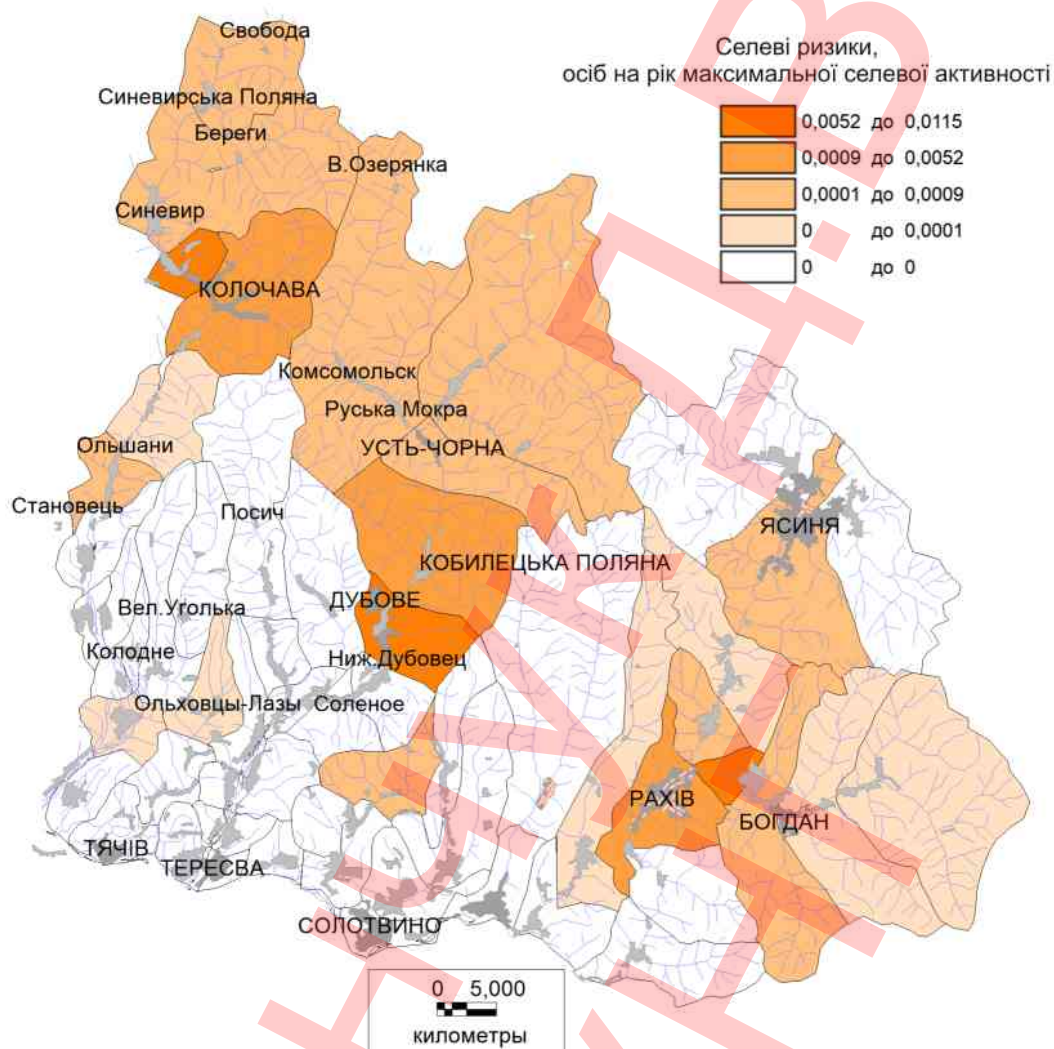


Рис. 5.10. Схематична карта еколого-геологічної оцінки ризиків селевої небезпеки у межах населених пунктів (на прикладі басейну р. Тиса)

### Висновки до розділу 5.

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 прогнозних карт оцінок ризиків за видами ЕГП; узагальнення оцінок просторового та захисного комплексів і побудова інтегральної карти ризиків ЕГП.

В основі запропонованої методології розрахунок комплексного інтегрального показника еколого-геологічної оцінки ризиків, який розраховується на основі прогнозних моделей розвитку ЕГП. Побудовані карти ризиків уперше дозволяють об'єднати не тільки просторово-часову прогнозу складову ураженості (найбільш використовувану при оцінці ризиків і небезпек), а й систему підготовчих етапів – оцінок, які узагальнюють усі можливі показники, що визначають їх.

Сформовані карти дозволяють оцінити таку ймовірність у будь-якій точці, а отже є аналітично змістовними та можуть бути використані для створення прогнозних ГІС-моделей оцінок еколого-геологічних ризиків.

Слід відмітити, що побудовані карти ймовірностей розвитку та активізації екзогенних геологічних процесів на території найбільшого поширення є різними. Розподіл на природну та техногенну складові дозволив обґрунтовано підійти до проведення еколого-геологічної оцінки ризиків зсувних, кастових та селевих процесів.

Представлені дані демонструють зміну значень еколого-геологічних ризиків для адміністративних територіальних одиниць та відображають значення ризику, яка не перевищує часову складову частоти активізації небезпечних екзогенних геологічних процесів за певний проміжок часу –  $\times 10^{-2}$ .

## ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі висвітлено актуальну науково-прикладну задачу дослідження та аналізу факторів, які сприяють активізації та розвитку ЕГП. Теоретичні та експериментальні дослідження, що виконані автором, дозволяють зробити наступні висновки.

1. Розвиток і значне поширення ЕГП по території України та Карпатського регіону зокрема, свідчить про необхідність детального дослідження цих процесів у їх взаємозв'язку з ініціюючими факторами.

2. Проведені теоретичні дослідження дозволяють стверджувати про правильність аналізу груп чинників, що базуються на визначення законів розподілу факторних характеристик, їх уніфікація, оцінка інформативності факторів, розрахунок інтегральних показників.

3. Обґрунтовано вибір факторів природної та техногенної складової розвитку та активізації зсувів, селів та карстів. Зокрема, в якості техногенно-обумовлених чинників (факторних характеристик) обрано: геологічні (відстань до ділянок порушення геологічного середовища (водозаборів, кар'єрів), коефіцієнт ураженості дорожньою мережею та населеними пунктами в межах району), геоморфологічні (відстань до джерела вібрації, рівень вібрації; зміна кута нахилу; коефіцієнт стійкості; відстань до дороги, залізниці; відстань до населеного пункту), гідрогеологічні (Коефіцієнт порушеності, рівень ґрунтових вод), ландшафтні (зміна лісових площ, відстань до границі лісу). Запропоновано нову часову факторну характеристику, як фази Місяця, для удосконалення існуючих часових методів прогнозу.

4. Просторовий аналіз здійснюється на основі зв'язку між групами факторів із використанням вагового показника інформативності факторів та інтегрального показника.

5. Кінцевим результатом досліджень є еколого-геологічна оцінка ризиків на основі комплексних інтегральних просторових показників активізації та розвитку

ЕГП, які на кількісному імовірнісному рівні враховують сумарну дію факторів. Просторовий аналіз здійснюється шляхом побудови карти розподілу просторового інтегрального показника.

Зазначені дослідження є основою для удосконалення існуючих ГІС. Оцінка еколого-геологічних ризиків від проявів небезпечних ЕГП дозволить забезпечити безпечне будівництво й експлуатацію господарських і інженерних споруд, планувати заходи щодо запобігання аварійних ситуацій при будівництві й експлуатації інженерних споруд, ефективніше захищати населення від стихійних лих, що у свою чергу приведе до стабільності екогеосистем та екологічної безпеки регіону, держави у цілому.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Національна доповідь про стан техногенної та природної безпеки в Україні у 2005 році – К.: ДП «Агенство «Чорнобильінформ», 2006. – 243 с.
2. Національна доповідь про стан техногенної та природної безпеки в Україні у 2006 році – К.: ДП «Агенство «Чорнобильінформ», 2007. – 236 с.
3. Національна доповідь про стан техногенної та природної безпеки в Україні у 2007 році – К.: ДП «Агенство «Чорнобильінформ», 2008. – 229 с.
4. Національна доповідь про стан техногенної та природної безпеки в Україні у 2008 році – К.: ДП «Агенство «Чорнобильінформ», 2009. – 230 с.
5. Національна доповідь про стан техногенної та природної безпеки в Україні у 2009 році – К.: ДП «Агенство «Чорнобильінформ», 2010. – 252 с.
6. Національна доповідь про стан техногенної та природної безпеки в Україні у 2010 році – К.: ДП «Агенство «Чорнобильінформ», 2011. – 215 с.
7. Національна доповідь про стан техногенної та природної безпеки в Україні у 2011 році – К.: ДП «Агенство «Чорнобильінформ», 2012. – 360 с.
8. Національна доповідь про стан техногенної та природної безпеки в Україні у 2012 році – К.: ДП «Агенство «Чорнобильінформ», 2013. – 384 с.
9. Національна доповідь про стан техногенної та природної безпеки в Україні у 2013 році – К.: ДП «Агенство «Чорнобильінформ», 2014. – 542 с.
10. Національна доповідь про стан техногенної та природної безпеки в Україні у 2014 році – К.: ДП «Агенство «Чорнобильінформ», 2015. – 365 с.
11. Касіянчук Д. В. Природна і техногенна складова факторів екзогенних геологічних процесів // Матеріали доповідей XII Міжнародної наукової конференції. «Геоінформатика: теоретичні та прикладні аспекти» [Електронний ресурс]., 13-16 травня 2013 р. – м. Київ: Всеукраїнська асоціація геоінформатики., 1 електрон.опт. диск (CD-ROM), 12 см.
12. Касіянчук Д. В. Обґрунтування вибору факторів активізації небезпечних геологічних процесів (на прикладі території Карпатського регіону) // Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування: наук.- техн. журн. - Івано-Франківськ: Симфонія форте. - 2014. - № 2. – С. 42-52.

13. Касіяничук Д. В. Статистичний аналіз факторів природної та техногенної складової розвитку селів // Матеріали доповідей XIII Міжнародної наукової конференції. “Геоінформатика: теоретичні та прикладні аспекти” [Електронний ресурс]., 12-15 травня 2014 р. – м. Київ: Всеукраїнська асоціація геоінформатики., 1 електрон.опт. диск (CD-ROM), 12 см.

14. Касіяничук Д. В. Статистичний аналіз факторів природної та техногенної складової розвитку зсувів // Збірник матеріалів доповідей 3-го Міжнародного конгресу «Захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування, 17-19 вересня 2014 р. – м. Львів: Національний університет «Львівська політехніка» – С. 30.

15. Касіяничук Д. В. Статистичний аналіз факторів природної та техногенної складової розвитку селів / Д. В. Касіяничук // Збірник наукових праць УкрДГРІ. - 2014. - № 3-4. - С. 178-190. - Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/j-pdf/UDGRI\\_2014\\_3-4\\_15.pdf](http://nbuv.gov.ua/j-pdf/UDGRI_2014_3-4_15.pdf)

16. Касіяничук Д. В. Статистичний аналіз факторів природної та техногенної складової розвитку карсту / Д. В. Касіяничук // Екологічна безпека та природокористування. - 2014. - Вип. 16. - С. 49-56. - Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/j-pdf/ebpk\\_2014\\_16\\_8.pdf](http://nbuv.gov.ua/j-pdf/ebpk_2014_16_8.pdf)

17. Касіяничук Д. В. Аналіз факторів природної складової розвитку карсту // Збірник матеріалів доповідей Всеукраїнської науково-практичної конференції «Геодезія. Землеустрій. Природокористування: присвячується пам'яті П. Г. Черняги», 5 - 6 листопада 2014р. – м. Рівне: Рівненський національний університет водного господарства та природокористування. – С. 28-31.

18. Касіяничук Д. В. Статистичний аналіз факторів природної та техногенної складової розвитку зсувів / Д. В. Касіяничук // Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Серія: Геологія – Географія – Екологія. - 2014. - № 1128, Вип. 41. - С. 139-148. - Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/j-pdf/VKhG\\_2014\\_1128\\_41\\_29.pdf](http://nbuv.gov.ua/j-pdf/VKhG_2014_1128_41_29.pdf).

19. Касіяничук Д. В. Методологія кількісної прогностичної оцінки ризиків екзогенних геологічних процесів з використанням ГІС-технологій / Д. В. Касіяничук,

І. В. Чепурний, Т. Б. Чепурна, Н. В. Гурська // Матеріали доповідей XII Міжнародної наукової конференції. «Геоінформатика: теоретичні та прикладні аспекти» [Електронний ресурс], 11-14 травня 2015 р. – м. Київ: Всеукраїнська асоціація геоінформатики., 1 електрон.опт. диск (CD-ROM), 12 см.

20. Касіяничук Д. В. Оцінка впливу змін клімату на розвиток і активізацію ЕГП (на прикладі зсувів Івано-Франківської області) // Актуальні проблеми дослідження довкілля. Збірник наукових праць (за матеріалами VI Міжнародної наукової конференції, присвяченої 150-річчю з дня народження академіка Г. М. Висоцького, 20-23 травня 2015 р., м. Суми). – Т. 2. – Суми : СумДПУ імені А. С. Макаренка, 2015. – С. 156-161.

21. Штогрин Л. В. Про можливий зв'язок між періодичністю опадів, активізацією зсувів та фазами Місяця / Л. В. Штогрин, Д. В. Касіяничук // Збірник наукових праць УкрДГРІ. - 2015. - № 4. - С. 93-102.

22. Касіяничук Д.В. Розрахунок еколого-геологічних ризиків зсувної небезпеки / Д. В. Касіяничук, Е. Д. Кузьменко, Т. Б. Чепурна, І. В. Чепурний // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2016. – Vol. 6, N 1(79). - P. 53-61. – Way of Access : DOI: 10.15587/1729-4061.2016.

23. Боднарик Г. К. Классификация инженерно-геологических прогнозов и перспектива развития методов прогнозирования / Г. К. Боднарик. // Труды ВСЕГИНГЕО. – 1972. – №57. – С. 5–19.

24. Бондарик Г. К. Общая теория инженерной (физической) геологии / Г. К. Бондарик. – М: Недра, 1981. – 256 с.

25. Гулакян К. А. Прогнозирование оползневых процессов / К. А. Гулакян, В. В. Кюнтцель, Г. П. Постоев. – М: Недра, 1977. – 135 с.

26. Кюнтцель В. В. Закономерности оползневого процесса на европейской территории СССР и его региональный прогноз / В. В. Кюнтцель. – М: Недра, 1980. – 213 с.

27. Емельянова Е. П. Основные закономерности оползневых процессов / Е. П. Емельянова. – М: Недра, 1978. – 308 с.

28. Емельянова Е.П. Сравнительный метод оценки устойчивости склонов и прогноза оползней / Е. П. Емельянова. – М.: Недра, 1971. – 104 с.

29. Методы долговременных региональных прогнозов экзогенных геологических процессов / под ред. А. И. Шеко, В. С. Круподерова. – М: Недра, 1984. – 187 с.

30. Методические рекомендации по составлению долгосрочных прогнозов экзогенных геологических процессов в системе государственного мониторинга геологической среды / Шеко А. И., Постоев Г. П., Круподеров В. С. и др. – М.: ВСЕГИНГЕО, 1999. – 78 с.

31. Экологическая геология Украины. Справочное пособие./Отв. редактор Е. Ф.Шнюков. – К.: Наук. думка. 1993. – 408 с.

32. Зведений регіональний прогноз можливої активізації зсувного процесу на території Закарпатської області протягом 1999–2010 рр.: Звіт про науково–дослідну роботу / Климчук Л. В., Красноок Л. М., Лескова Г. В. та ін. – Київ: ДІГФ „Геоінформ”, 1999. – 38 с.

33. Прогнозна оцінка можливої активізації зсувного процесу на території Закарпатської області у 2000 р.: Звіт про науково-дослідну роботу / Яковлев Е. О., Красноок Л. М., Лескова Г. В. та ін. – Київ: ДІГФ „Геоінформ”, 2000. – 73 с.

34. Климчук Л. М., Блінов П. В., Величко В. Ф. та ін. Сучасні інженерно-геологічні умови України як складова безпеки життєдіяльності. – К.: ДНВП «Геоінформ України», 2008. – 265 с.

35. Castellanos Abella E. A. Generation of a landslide risk index map for Cuba using spatial multi-criteria evaluation [Електронний ресурс] / Abella E. A. Castellanos, C. J. Van Westen // Landslides. – 2007. – № 4:311–325. – Режим доступу: <http://link.springer.com/article/10.1007/s10346-007-0087-y>

36. Mavrouli O. Vulnerability of simple reinforced concrete buildings to damage by rockfalls [Електронний ресурс] / O. Mavrouli, J. Corominas // Landslides. – 2010. – № 7(2): 169–180. – Режим доступу: <http://link.springer.com/article/10.1007/s10346-010-0200-5/fulltext.html>



37. Iswar Das Probabilistic landslide hazard assessment using homogeneous susceptible units (HSU) along a national highway corridor in the northern Himalayas, India [Электронный ресурс] / Iswar Das, Alfred Stein, N. Kerle, V. K. Dadhwal // *Landslides*. – 2011. – № 8(3): 293-308. – Режим доступа: <http://link.springer.com/article/10.1007/s10346-011-0257-9/fulltext.html>

38. Martelloni G. Rainfall thresholds for the forecasting of landslide occurrence at regional scale [Электронный ресурс] / G. Martelloni, S. Segoni, R. Fanti, F. Catani // *Landslides*. – 2012. – № 9(4): 485-495. – Режим доступа: <http://link.springer.com/article/10.1007/s10346-011-0308-2/fulltext.html>

39. Brückl E. The Gradenbach Observatory-monitoring deep-seated gravitational slope deformation by geodetic, hydrological, and seismological methods [Электронный ресурс] / E. Brückl, F. K. Brunner, E. Lang, S. Mertl, M. Müller, U. Stary // *Landslides*. – 2013. – № 10(6): 815-829. – Режим доступа: <http://link.springer.com/article/10.1007/s10346-013-0417-1/fulltext.html>

40. Bayes A. Landslide susceptibility mapping using multi-criteria evaluation techniques in Chittagong Metropolitan Area, Bangladesh [Электронный ресурс] / *Landslides*. – 2014. – Режим доступа: <http://link.springer.com/article/10.1007/s10346-014-0521-x/fulltext.html>

41. Margottini C. *Landslide Science and Practice: Volume 3. Spatial Analysis and Modelling* [Text] / Claudio Margottini, Paolo Canuti, Kyoji Sassa // SpringerLink: Bücher, Springer Science & Business Media, 2013. – 440 p.

42. Sassa K. *Landslide Science for a Safer Geoenvironment: Volume 1. The International Programme on Landslides (IPL)* [Text] / Kyoji Sassa, Paolo Canuti, Yueping Yin // SpringerLink: Bücher, Springer, 2014. – 493 p.

43. Margottini C. *Landslide Science and Practice: Volume 5. Complex Environment* [Text] / Claudio Margottini, Paolo Canuti, Kyoji Sassa // SpringerLink: Bücher, Springer Science & Business Media, 2013. – 354 p.

44. Kaufman J. E. A Statistical Approach to Karst Collapse Hazard Analysis in Missouri [Электронный ресурс] / J. E. Kaufman // *Proceedings of the 11th Multidisciplinary Conference Sinkholes and the Engineering and Environmental Impacts*

of Karst, September 22–26, 2008, Tallahassee, Florida, USA. – Режим доступа: [http://dx.doi.org/10.1061/41003\(327\)25](http://dx.doi.org/10.1061/41003(327)25).

45. Predicting Sinkhole Susceptibility in Frederick Valley, Maryland, Using Geographically Weighted Regression [Электронный ресурс] / Katarina Z. Doctor, Barry J. Kronenfeld, Daniel H. Doctor [and other] // Proceedings of the 11th Multidisciplinary Conference Sinkholes and the Engineering and Environmental Impacts of Karst, September 22–26, 2008, Tallahassee, Florida, USA. – Режим доступа: [http://dx.doi.org/10.1061/41003\(327\)24](http://dx.doi.org/10.1061/41003(327)24).

46. Fiorillo F. Analysis of karst spring discharges during droughts [Электронный ресурс] / F. Fiorillo, F. M. Guadagno // Italian Journal of Engineering Geology and Environment. – 2010. – № 2. – Режим доступа: [http://www.ijege.uniroma1.it/rivista/ijege-2010/ijege-10-volume-2/analisi-delle-portate-di-sorgenti-carsiche-durante-periodi-siccitosi/ijege-10\\_02-fiorillo-e-guadagno.pdf/file\\_asdoc](http://www.ijege.uniroma1.it/rivista/ijege-2010/ijege-10-volume-2/analisi-delle-portate-di-sorgenti-carsiche-durante-periodi-siccitosi/ijege-10_02-fiorillo-e-guadagno.pdf/file_asdoc)

47. Stein-Erik Lauritzen. Speleogenesis and karst landform development in central Scandinavia: An overview [Электронный ресурс] / S.–E. Lauritzen// Materials of proceedings 33rd International Geological congress, 6–14th august 2008, Oslo, Norway.– Oslo, 2008 – 1 электрон. опт. диск (CD ROM).

48. Gunn J. Karst geomorphology and hydrogeology in Ireland [Электронный ресурс] / J. Gunn, D. Drew// Materials of proceedings 33rd International Geological congress, 6–14th august 2008, Oslo, Norway.– Oslo, 2008 – 1 электрон. опт. диск (CD ROM).

49. Daoxian Y. Three major types of karst in China [Электронный ресурс] / Yuan Daoxian Yuan /Materials of proceedings 33rd International Geological congress, 6–14th august 2008, Oslo, Norway.– Oslo, 2008 – 1 электрон. опт. диск (CD ROM).

50. Вахрушев Б. А. Теоретические аспекты создания локальной геоинформационной системы – «ГИС–Карст Горного Крыма» [Электронный ресурс] / Б. А. Вахрушев, В. В. Пона // <http://www.ccssu.ua>.

51. Рагозин А.Л. Теория и практика оценки геологических рисков/ А.Л. Рагозин. – М.:ПНИИИС,– 1997.

52. Water management of the classical karst aquifer (ne Italy, sw Slovenia)/ Franco C., Luca Z., Chiara C., Philippe T. & others // International Conference and Field Seminar "Karst Without Boundaries", 11-15 June 2014, Trebinje (Bosnia & Herzegovina) - Dubrovnik Croatia; edited by N. Kukurić Z. Stevanović N. Krešić. - Trebinje : Grafokomerc, 2014 (Trebinje : Print plast). - 431str. : ilustr.; 30 cm.

53. Селевые потоки в Крыму и Карпатах / А.Н. Олиферов. – Симферополь: Доля, 2007. – 176 с.

54. Толстых Е.А., Ключкин А.А. Методика измерения количественных параметров экзогенных геологических процессов.– М.: Недра, 1984. – 117 с.

55. Рудько Г.И. Оползни и другие геодинамические процессы горноскладчатых областей Украины (Крым, Карпаты) / Г.И. Рудько, И.Ф. Ерыш. – К.: Задруга, 2006 – 624 с.

56. GCL model by the determination of the characteristics in The beginning zone of the debris flows using a GIS [Электронный ресурс] / R. Guille, C. Cardoso-landa // 5th International Conference on Debris-Flow Hazards Mitigation: Mechanics, Prediction and Assessment Padua, Italy, 14-17 June 2011. – Режим доступа: [http://www.ijege.uniroma1.it/rivista/5th-international-conference-on-debris-flow-hazards-mitigation-mechanics-prediction-and-assessment/topic-1-debris-flow-occurrence-and-initiation/gcl-model-by-the-determination-of-the-characteristics-in-the-beginning-zone-of-the-debris-flows-using-a-gis/ijege-11\\_bs-cardoso-landa.pdf/file\\_asdoc](http://www.ijege.uniroma1.it/rivista/5th-international-conference-on-debris-flow-hazards-mitigation-mechanics-prediction-and-assessment/topic-1-debris-flow-occurrence-and-initiation/gcl-model-by-the-determination-of-the-characteristics-in-the-beginning-zone-of-the-debris-flows-using-a-gis/ijege-11_bs-cardoso-landa.pdf/file_asdoc).

57. Reconstruction of magnitude and frequency of debris flows in the rebaixader torrent (eastern pyrenees, spain) by dendrogeomorphological analysis [Электронный ресурс] / Guillaume G. Chevalier, Jose Moya & others // 5th International Conference on Debris-Flow Hazards Mitigation: Mechanics, Prediction and Assessment Padua, Italy, 14-17 June 2011. – Режим доступа: [http://www.ijege.uniroma1.it/rivista/5th-international-conference-on-debris-flow-hazards-mitigation-mechanics-prediction-and-ssessment/topic-1-debris-flow-occurrence-and-initiation/reconstruction-of-magnitude-and-frequency-of-debris-flows-in-the-rebaixader-torrent-eastern-pyrenees-spain-by-endrogeomorphological-analysis/ijege-11\\_bs-chevalier-et-alii.pdf/file\\_asdoc](http://www.ijege.uniroma1.it/rivista/5th-international-conference-on-debris-flow-hazards-mitigation-mechanics-prediction-and-ssessment/topic-1-debris-flow-occurrence-and-initiation/reconstruction-of-magnitude-and-frequency-of-debris-flows-in-the-rebaixader-torrent-eastern-pyrenees-spain-by-endrogeomorphological-analysis/ijege-11_bs-chevalier-et-alii.pdf/file_asdoc).

58. III International Conference «Debris Flows: Disasters, Risk, Forecast, Protection»: proceedings, Yuzhno-Sakhalinsk, September 22–26, 2014 / Editor-in-chief Kazakov N.A. - Yuzhno-Sakhalinsk, Russia, Sakhalin Department of Far East Geological Institute FEB RAS. - 272 p.

59. Гошовський В.С. Екологічна безпека техноприродних геосистем адміністративних областей (на прикладі Львівської області): автореф. дис. канд. геол. наук: спец. 21.06.01 «Екологічна безпека». — Івано-Франківськ, 2008. — 16 с.

60. Узагальнення матеріалів по вивченні екзогенних геологічних процесів по території діяльності підприємства та інженерно-геологічне довивчення території Львівської та частково Закарпатської областей з метою геологічного обґрунтування протизсувних заходів та геологічного забезпечення УІАС НС: звіт про науково-дослідну роботу / Стахів Т., Павлюк В., Гаврилишин І. та ін. // Львів: ДП «Західукргеологія», 2006. – 299 с.

61. Риахи Р. Прогнозирование экологических рисков с использованием анализа иерархий и теории нечетких множеств / Риахи Р., Безносик Ю.А., Бугаева Л.Н., Статюха Г.А.// Міжнародна науково-практична конференція “Перший Всеукраїнський з’їзд екологів” Збірник тез доповідей. [Електронний ресурс] – Режим доступу: [http://eco.com.ua/sites/eco.com.ua/files/lib1/konf/1vze/1\\_s\\_1VZE.pdf](http://eco.com.ua/sites/eco.com.ua/files/lib1/konf/1vze/1_s_1VZE.pdf)

62. Пляцук Д. Л., Бойко В. В. Економічні аспекти оцінки екологічних ризиків в техногенно навантажених регіонах // Механізм регулювання економіки, 2012, № 4. – С. 222-226.

63. Обиход Г. О., Омельяненко Т. Л. Методичні підходи щодо оцінки рівня екологічної небезпеки регіонів України // Електронне наукове фахове видання "Ефективна економіка" [Електронний ресурс]. – м. Дніпропетровськ: Дніпропетровський аграрно-економічний університет, 1 електрон.опт. диск (CD-ROM), 12 см.

64. Биченок М.М. Ризики життєдіяльності у природно-техногенному середовищі / М.М. Биченок, С.П. Іванюта, Є.О. Яковлєв; Ін-т пробл. нац. безпеки Ради нац. Безпеки і оборони України. - К., 2008. – 160 с.

65. Биченок М.М., Яковлев Є.О., Іванюта С.П. Динаміка змін ризиків життєдіяльності у природно-техногенній сфері // Екологія і ресурси. – К.: ІПНБ, 2006. – № 14. – С. 23-29.
66. Биченок М.М., Іванюта С.П., Яковлев Є.О. Про вплив екзогенних геологічних процесів на рівень техногенних ризиків життєдіяльності // Збірник наукових праць УкрДГРІ. – К.: УкрДГРІ, 2006. - № 1. – С. 85-91.
67. Биченок М.М., Рогожин О.Г., Яковлев Є.О. Про оцінювання ризиків життєдіяльності і господарювання у природно-техногенній сфері // Екологія і ресурси. – К.: ІПНБ, 2004. – № 10. – С. 64-73.
68. Jia H. Risk mapping of integrated natural disasters in China / Huicong Jia, Donghua Pan, Jing-ai Wang, Wan-chang Zhang // Natural Hazards. – 2015. – Volume 80, Issue 3. – P. 2023-2035.
69. Daia F. C Landslide risk assessment and management: an overview / F. C Daia, C. F Lee, Y. Y Ngaib // Engineering Geology. – 2002. – Volume 64, Issue 1. – P. 65–87.
70. Адаменко О. М., Рудько Г. І. Екологічна геологія: Підручник. – К.: Манускрипт, 1997. – 348с.
71. Адаменко О. М., Рудько Г. И. Основы экологической геологии (на примере экзогеодинамических процессов Карпатского региона Украины). – К.: Манускрипт, 1995. – 216 с.
72. Гошовський С. В., Горда Є. Л., Рудько Г. І. Техногенно- екологічна безпека та інженерний захист територій від зсувів (на прикладі Карпатського регіону України за наслідками катастрофічної активізації 1998-1999р. р.). – К.: Знання. 1999. – 102 с.
73. Гошовський С. В., Рудько Г. І., Білінов П. В. Інженерно-геологічний аналіз, моніторинг та захист території від зсувів. – Львів: ЗУКЦ, 2004. – 152 с.
74. Демчишин М. Г. Аналіз стану інженерного захисту територій, будинків і споруд в Україні та розробка організаційної структури і заходів по боротьбі з небезпечними геологічними процесами в сучасних умовах. Звіт 4.5.20. 1995. – 32 с.

75. Демчишин М. Г. Современная динамика склонов на территории Украины (инженерно–геологические аспекты) / Демчишин М. Г. – К.: Наукова думка, 1992. – 253 с.
76. Рудько Г. Закономірності та екологічний ризик розвитку небезпечних геологічних процесів Карпатського регіону України / Рудько Г., Якимів І. – Івано-Франківськ: Факел, 1999. – 139 с.
77. Рудько Г., Кравчук Я. Інженерно-геологічний аналіз Карпатського регіону України. – Львів, 2002. – 172 с.
78. Рудько Г. І. Техногенно-екологічна безпека геологічного середовища (наукові та методичні основи). – Львів: Видавничий центр ЛНУ ім. І.Франка, 2001. – 344 с.
79. Рудько Г. І., Гошовський С. В. Екологічна безпека техноприродних систем (наукові і методичні основи). – К.: ЗАТ «Нічлава», 2006. – 456 с.
80. Шостак А. В. Інженерна геологія: навчальний посібник. – К: КНУ ім. Т. Шевченка, 2010 – 92 с.
81. Саваренский Ф. П. Инженерная геология. – М.: ГОНТИ, 1939 – 488 с.
82. Азаров Б. Ф. Геоэкологический аспект обеспечения безопасности жизнедеятельности в оползневой зоне Барнаула / Здоровье населения – стратегия развития среди жизнедеятельности: в 2 т.: сб.ст. к Общему собранию РААСН / Белгородский государственный университет им. В.Г. Шухова.-Белгород: Изд-во БГТУ, 2008.-Т.2.-391с. – С. 53-56.
83. Попов И.В. Принципы естественной классификации оползней / И. В. Попов // Доклады АН СССР. – 1946. – Т.LIX, №2. – С. 23–29. 46.
84. Попов И. В. Закономерности возникновения и развития оползневых процессов / И. В. Попов // Тр. ЛГГП. Вопросы устойчивости склонов. – М.: Изд-во АН СССР, 1961. – Т.25. – С. 3–8.
85. Львівський державний університет безпеки життєдіяльності [Електронний ресурс]: [Електронна бібліотека]. – Електронні дані. – Режим доступу: [http://ubgd.lviv.ua/moodle/pluginfile.php/22353/mod\\_resource/content/1/лекція%201.3.pdf](http://ubgd.lviv.ua/moodle/pluginfile.php/22353/mod_resource/content/1/лекція%201.3.pdf)

86. Селевые потоки в Крыму и Карпатах / А. Н. Олиферов. – Симферополь: Доля, 2007. – 176 с.

87. Шеко А. И. Закономерности формирования и прогноз селей. М.: Недра, 1980.-296 с.

88. Закономерная связь между величинами вероятностей возникновения оползней и оползневой опасности при комплексном воздействии природно-техногенных факторов. Научное открытие. Диплом №310. /Кузьменко Э. Д., Крыжанивский Е. И., Карпенко А. Н., Журавель А. М.// Научные открытия: сборник кратких описаний научных открытий, научных идей, научных гипотез. – 2006. – Москва: МААНОИ, 2007. – С. 64-65.

89. Довгострокове прогнозування провальньо-просадочних проявів карсту: монографія /Е. Д. Кузьменко, І. В. Чепурний, П. П. Чалий. – Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2012. – 272 с.

90. Чепурна Т. Б. Регіональний просторово-часовий прогноз селевої небезпеки із застосуванням геоінформаційних технологій : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня к. геол. наук: спец. 04.00.05 «Геологічна інформатика»/ Чепурна Т. Б. – К., 2012. – 20 с.

91. Geoscience Australia: [Електронний ресурс]. Canberra, Australia 1901-2013. URL: <http://www.ga.gov.au/> (Дата звернення: 3.02.2013).

92. United States Geological Survey. Landslide Program and National Landslide Information Center: [Електронний ресурс]. Denver, USA 2013. URL: <http://landslides.usgs.gov/> (Дата звернення: 18.04.2013).

93. Демчишин М. Г. Провоцирующие оползни события и устойчивость склонов.//Вісник УБЕНТЗ. 1999, № 7. – С. 26- 32.

94. Закономерная связь между величинами вероятностей развития приповерхностного карста в карбонатных и сульфатных породах и карстопровальной опасности при комплексном воздействии природно-техногенных факторов. Научные открытия. Диплом № 394 / Кузьменко Э. Д., Рудько Г. И., Вдовина Е. П., Чепурный И. В. // Научные открытия: сборник кратких описаний

научных открытий, – научных гипотез. – Москва: изд. Российской академии естественных наук, 2011. – С. 29-30.

95. Ломтадзе В. Д. Инженерная геология. Инженерная геодинамика / В. Д. Ломтадзе. – Л: Недра, 1977. – 479 с.

96. Соколов Д. С. Основные условия развития карста / Соколов Д. С. – Москва: Госгеолтехиздат, 1962. – 321 с.

97. Инженерные изыскания для строительства. Основные положения. СНиП 11–02–96. Утвержден: 29.10.1996. Минстрой России. Постановление 18–77.

98. Кузьменко Э. Д., Крыжановский Е. И., Пронышин Р. С., Карпенко А. Н., Чепурный И. В. О цикличности Карпатских землетрясений и их связи с солнечной активностью // Геофизический журнал, №4 (29), 2007. – С. 66-76.

99. Назаревич Л. Є., Кендзера О. В., Назаревич А. В. Зв'язок землетрусів Карпатського регіону України та прилеглих територій із сонячною активністю // Геоінформатика, №2, 2011. – С. 61-67

100. Журавель О. М. Геоінформаційна система регіонального просторового прогнозування зсувної небезпеки для адміністративної області (на прикладі Івано-Франківської області): дис. ... канд. геол. наук : спец. 21.06.01 "Екологічна безпека" : Дата захисту 01.11.13 / О. М. Журавель. - Івано-Франківськ, 2013. - 138 с. : іл., рис., табл. - 127-137.

101. Чепурний І. В. Аналіз впливу лісового покриву на розвиток зсувних процесів в контексті їх прогнозування // Вісник національного університету водного господарства та природокористування (технічні науки), №3 (67). – С. 263-272.

102. Гайдін А. М. Сульфатний карст та його техногенна активізація (на прикладі Карпатського регіону України) / А. М. Гайдін, Г. І. Рудько.– К.: Товариство «Знання» України, 1998. – 76 с.

103. Malgot J. Influence of human activity on the development of landslides in Slovakia / J. Malgot, F. Baliak. // Geografický časopis. – 2002. – №51. – P. 21–39.

104. Матеріали 2-го Міжнародного форуму з вивчення зсувів [Електронний ресурс] // Режим доступу: <http://www.wlf2.org/8-landslide/4-three-main-factors-that-can-lead-to-a-disastrous-landslide>.



105. Федоров В. М. Вековые тенденции изменения приповерхностной температуры и их вероятные причины. [Электронный ресурс] / В. М. Федоров // Научный сайт: «Солнечная радиация и климат Земли» Режим доступа: <http://www.solar-climate.com/geo/pripo.htm> Проверено 09.09.2014

106. Кононова Н.К. Классификация циркуляционных механизмов Северного полушария по Б.Л. Дзердзеевскому. – М.: Воентехиниздат, 2009. – 372 с.

107. Анисимов М.В. Междекадная изменчивость термической структуры вод Северной Атлантики и ее климатическая значимость / Анисимов М.В., Бышев В.И., Залесный В.Б., Мошонкин С.Н. // Доклады РАН, 2012. – т. 443. – № 3. – С. 372 – 376.

108. Кузьменко Э. Д., Крыжановский Е. И., Пронышин Р. С., Карпенко А. Н., Чепурный И. В. О цикличности Карпатских землетрясений и их связи с солнечной активностью // Геофизический журнал, №4 (29), 2007. – С. 66-76.

109. Назаревич Л. Є., Кендзера О. В., Назаревич А. В. Зв'язок землетрусів Карпатського регіону України та прилеглих територій із сонячною активністю // Геоінформатика, №2, 2011. – С. 61-67.

110. Makiko Sato. GISS Surface Temperature Analysis. Analysis Graphs and Plots. – USA: National Aeronautics and Space Administration, Goddard Institute for Space Studies. Режим доступа: [http://data.giss.nasa.gov/gistemp/graphs\\_v3/](http://data.giss.nasa.gov/gistemp/graphs_v3/)

111. Кузьменко Е. Д., Журавель О. М., Чепурна Т.Б., Чепурный И.В., Штогрин Л.В. Прогнозування екзогенних геологічних процесів (частина 1) // Геоінформатика. – 2011. – №3. – С. 61-74.

112. Федоров В. М. Вековые тенденции изменения приповерхностной температуры и их вероятные причины. [Электронный ресурс] / В. М. Федоров // Научный сайт: «Солнечная радиация и климат Земли». Режим доступа: <http://www.solar-climate.com/geo/pripo.htm> Проверено 09.09.2014

113. Константиновская Л.В. Космические причины некоторых геологических процессов: автореф. дисс. на соиск. учен. степ. канд. геол.-минерал. наук: 04.00.01 / Л.В. Константиновская. – Москва, 1998. – 19 с. – Библиогр.: с. 19.

114. Дружинин И.П. Космос-Земля. Прогнозы / Дружинин И.П., Сазонов Б.И., Ягодинский В.Н. – М.: Мысль, 1974. - 288 с.

115. Фокин А. Н. Долгосрочное прогнозирование климата Восточно-Европейской равнины по космическим факторам. – М.: РАЕН, 1997. – С. 124–125.

116. Комков Н. А. Ритмы влияния Луны Солнца на погоду//Солнце, электричество, жизнь. – М.: Наука, 1972. – С. 37–39.

117. Кріль Т.В. Техногенні динамічні впливи на геологічне середовище міста (на прикладі м. Києва) (за матеріалами наукового повідомлення на засіданні Президії НАН України 8 жовтня 2014 р.) / Т.В. Кріль // Вісн. НАН України. – 2015. – № 1. – С. 67-75.

118. ДБН В.2.3-4:2007. Споруди транспорту; Автомобільні дороги [Текст]. - К.: Мінрегіонбуд України, 2007. - (Державні будівельні норми України). Ч. 1, 2. - Проектування (ч. 1). - Будівництво (ч. 2). - На заміну ДБН В.2.3-4-2000; чинні від 2008-03-01. - [Б. м.] : [б.в.], 2007. - 82 с. - Бібліогр.: с. 79.

119. ДБН В.1.2-2:2006. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Навантаження і впливи. Норми проектування/ Мінбудархітектури України. – К.: Сталь, 2006. – 59 с. – Чинні з 1.01.2007.

120. ДСН 3.3.6.039-99 Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації / Міністерство охорони здоров'я України. Головне санепідуправління. – К., 2000. – 60 с.

121. Смирнов Н. В. Краткий курс математической статистики для технических приложений / Н. В. Смирнов, И. В. Дунин-Барковский. – М.: Физматгиз, 1959. – 436 с.

122. Крив'юк І. В. Статистичний аналіз геолого-геофізичних параметрів, узгоджених із зсувонебезпекою локального рівня // Науковий вісник Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу. – Івано-Франківськ, 2009 – №1(19). – С.62-67.

123. Дэвис Дж. Статистический анализ данных в геологии / Пер. с англ.: В 2 кн. – М.: Недра, 1990. – 319-427 с.

124. Кузьменко Е. Д., Крижанівський Є. І., Карпенко О. М., Журавель О. М. Прогноз розвитку зсувних процесів як фактор забезпечення надійності експлуатації

трубопроводів // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2005. – № 4(17). – С. 24-35.

125. Шеко А. И. Оценка опасности и риска экзогенных геологических процессов / А. И. Шеко, В. С. Круподеров // Геоэкология. – 1994. – № 1. – С. 11-20.

126. Прогнозування екзогенних геологічних процесів /Кузьменко Е. Д., Журавель°О. М., Штогрин Л. В., Чепурний І. В., Чепурна Т. Б. / [Електронний ресурс]// X Міжнародна конференція «Геоінформатика: теоретичні та прикладні аспекти» – Київ.- Всеукраїнська асоціація геоінформатики, 10-13 травня 2011, Київ, Україна – електронний оптичний диск (CD ROM).

127. Прогнозування екзогенних геологічних процесів. Частина 2. Закономірності розвитку поверхневих проявів карсту та селів. Геоінформаційна система прогнозування екзогенних геологічних процесів / Кузьменко Е.Д., Журавель°О. М., Чепурна Т. Б., Чепурний І. В., Штогрин Л. В. // Геоінформатика. – 2011. – №4. – С-58-77.

128. Чепурний І. В. Довгострокове прогнозування розвитку сульфатного і карбонатного карсту в неогенових відкладах Передкарпаття (на прикладі території Львівської області).– Науковий вісник Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу. – 2009. –№3(21).– С. 34-43.

129. Лисиченко Г. В. Природний, техногенний та екологічний ризику: аналіз, оцінка, управління: монографія / Г. В. Лисиченко, Ю. Л. Забулонов, Г. А. Хміль. – К.: Наукова думка, 2008. – 537 с.

## «ЗАТВЕРДЖУЮ»

Начальник управління з питань  
надзвичайних ситуацій та у справах  
захисту населення від наслідків  
чорнобильської катастрофи  
Івано-Франківської обласної  
державної адміністрації

Стебницький В.М.

2016 р.



## АКТ

впровадження результатів досліджень, наведених у кандидатській дисертації  
Касіянука Д.В. «Оцінка екологічних ризиків для природної та техногенної  
складової екзогенних геологічних процесів Карпатського регіону»

Даним Актом підтверджується передача науково-практичних розробок, наведених в кандидатській дисертації Касіянука Д.В., Управлінню з питань надзвичайних ситуацій та у справах захисту населення від наслідків Чорнобильської катастрофи Івано-Франківської обласної державної адміністрації.

Результат виконання кандидатської дисертації полягає в одержанні нових науково обґрунтованих результатів, що в сукупності вирішують конкретну наукову задачу суттєвого значення для геологічних наук – оцінку екологічних ризиків екзогенних геологічних процесів. Це відкриває можливості для удосконалення існуючих методик прогнозування розвитку зсувів, селів, карсту окремо для природних і техногенних складових та дозволили виконати еколого-геологічну оцінку ризиків із метою визначення екологічної безпеки регіону.

За результатами просторових розподілів факторних характеристик та розподілів зображено побудовані відповідні карти ймовірностей екологічної небезпеки активізації та розвитку небезпечних ЕГП у межах Івано-Франківської області. Зазначені моделі передбачають послідовну побудову карт імовірності екологічної небезпеки для територій дослідження для зсувів, селів, карсту. Далі на їх основі будують карти еколого-геологічної оцінки ризиків.

Побудовані карти дозволять обґрунтувати основні підходи до забезпечення екологічної безпеки регіонів, у тому числі, в межах населених пунктів, де ймовірність події перш за все прив'язана не лише до виникнення ЕГП, а й можливих негативних наслідків для життєдіяльності людей.

Начальник відділу цивільного захисту  
управління з питань надзвичайних ситуацій  
та у справах захисту населення від наслідків  
Чорнобильської катастрофи Івано-Франківської обласної  
державної адміністрації

Черняк О.В.

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Проректор з науково-педагогічної  
роботи

Мандрик О. М.

« \_\_\_\_\_ » 2016 р.

**АКТ****впровадження у навчальний процес результатів  
дисертаційних досліджень  
Касіянчука Дмитра Васильовича**

Ми, що нижче підписалися, засвідчуємо, що основні положення кандидатської дисертації Касіянчука Д.В. на тему “Оцінка екологічних ризиків для природної та техногенної складової екзогенних геологічних процесів Карпатського регіону” впроваджені у навчальний процес на кафедрі геотехногенної безпеки та геоінформатики Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу і використовуються при викладанні дисциплін для освітньо-кваліфікаційного рівня бакалавр напрямку підготовки 6.080101 – Геодезія, картографія та землеустрій, 6.040106 – Екологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування.

Матеріали дисертаційного дослідження Касіянчука Д.В. використовуються студентами освітньо-кваліфікаційного рівня магістр зі спеціальності 8.08010105 – Геоінформаційні системи та технології у їх науково-дослідній роботі.

Директор ІЕІ

Директор ІТГ

Завідувач кафедри ГБГ

Здобувач

М.П. Мазур

В.Г. Омельченко

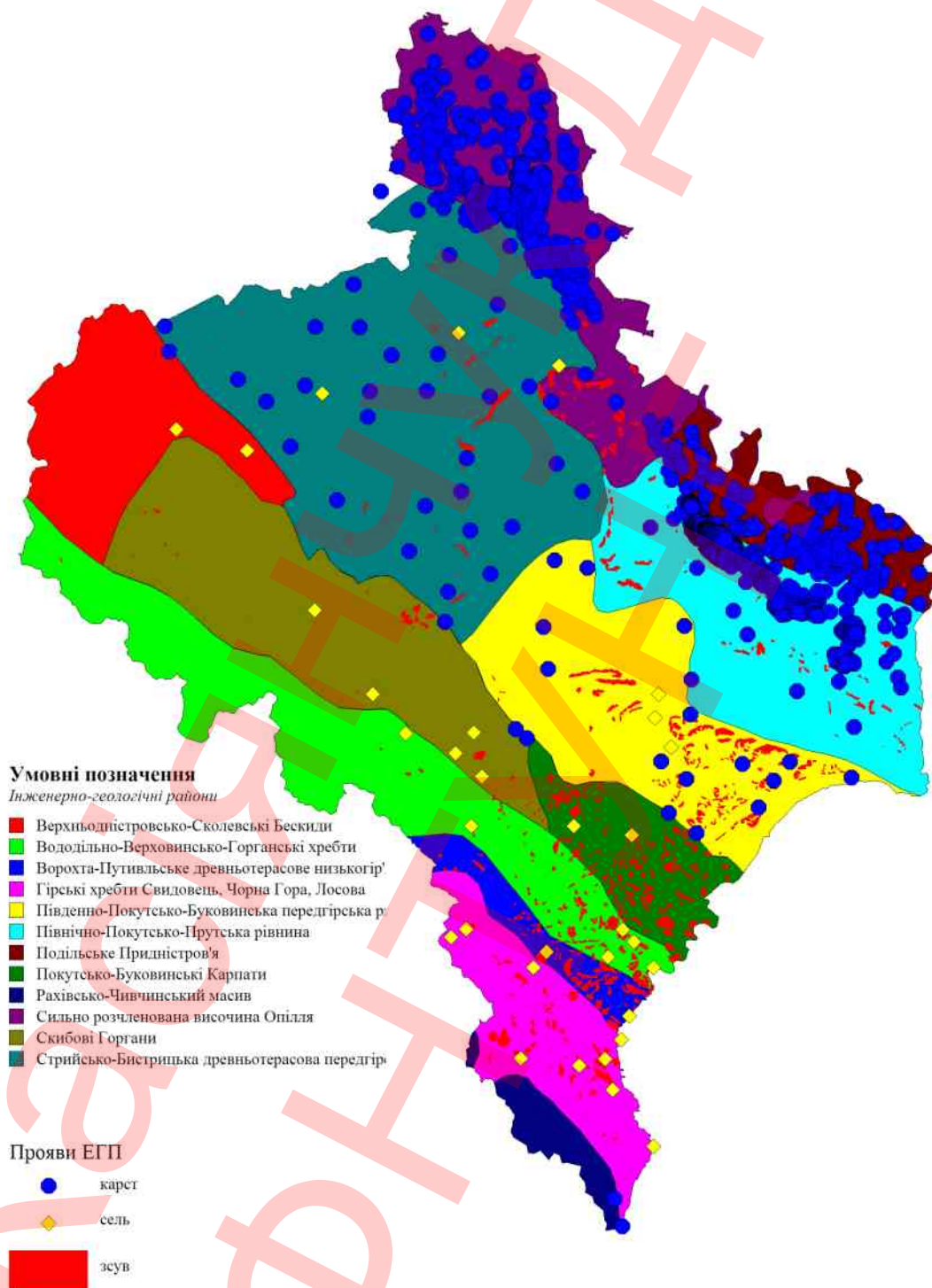
Е. Д. Кузьменко

Д. В. Касіянчук

# Карта ураженості ЕГП у межах інженерно-геологічних районів

## М 1:1 000 000

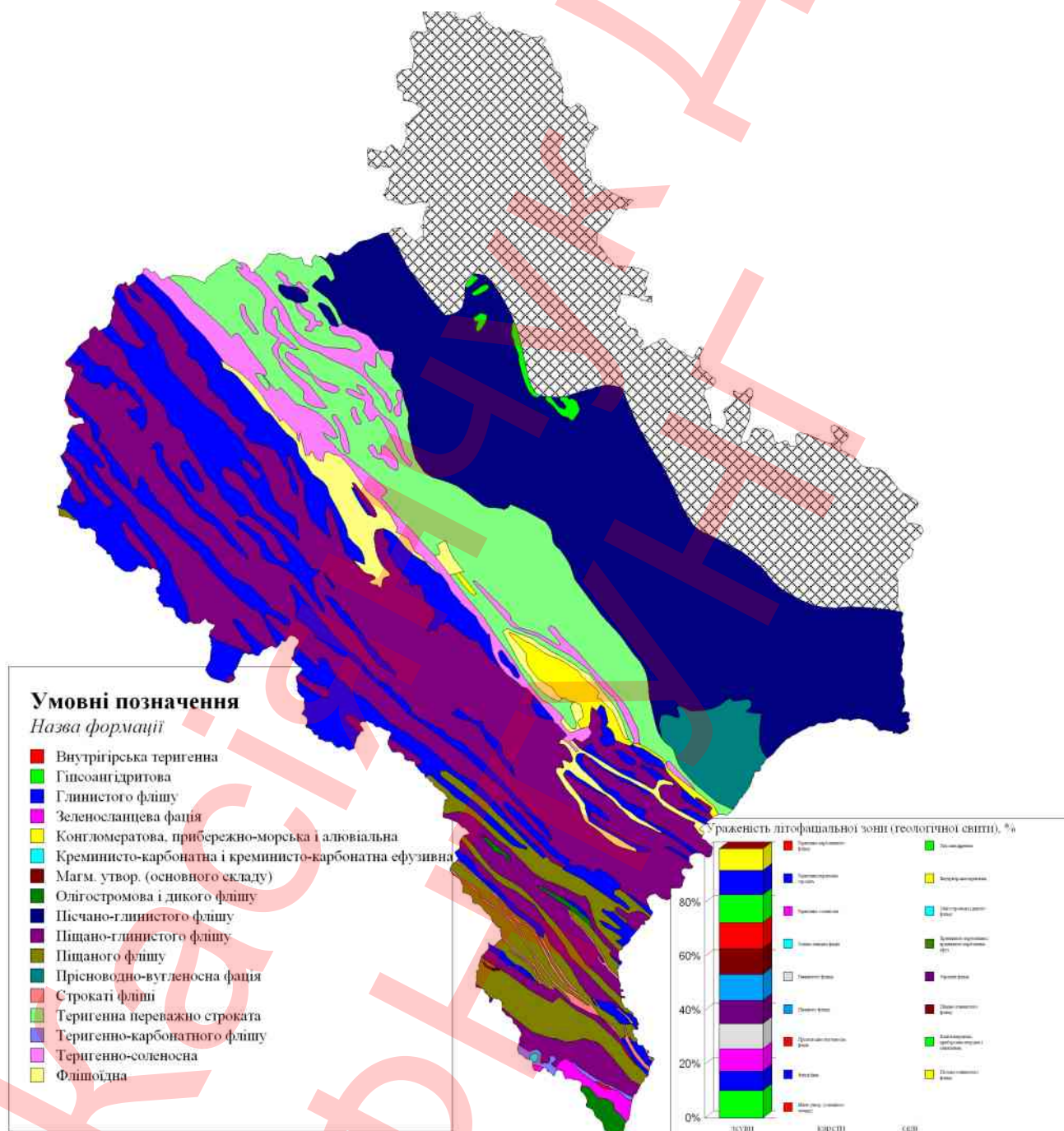
(за даними ДНВП «Геоінформ України»)



## Карта ураженості ЕГП у межах літофаціальних зон

М 1: 1 000 000

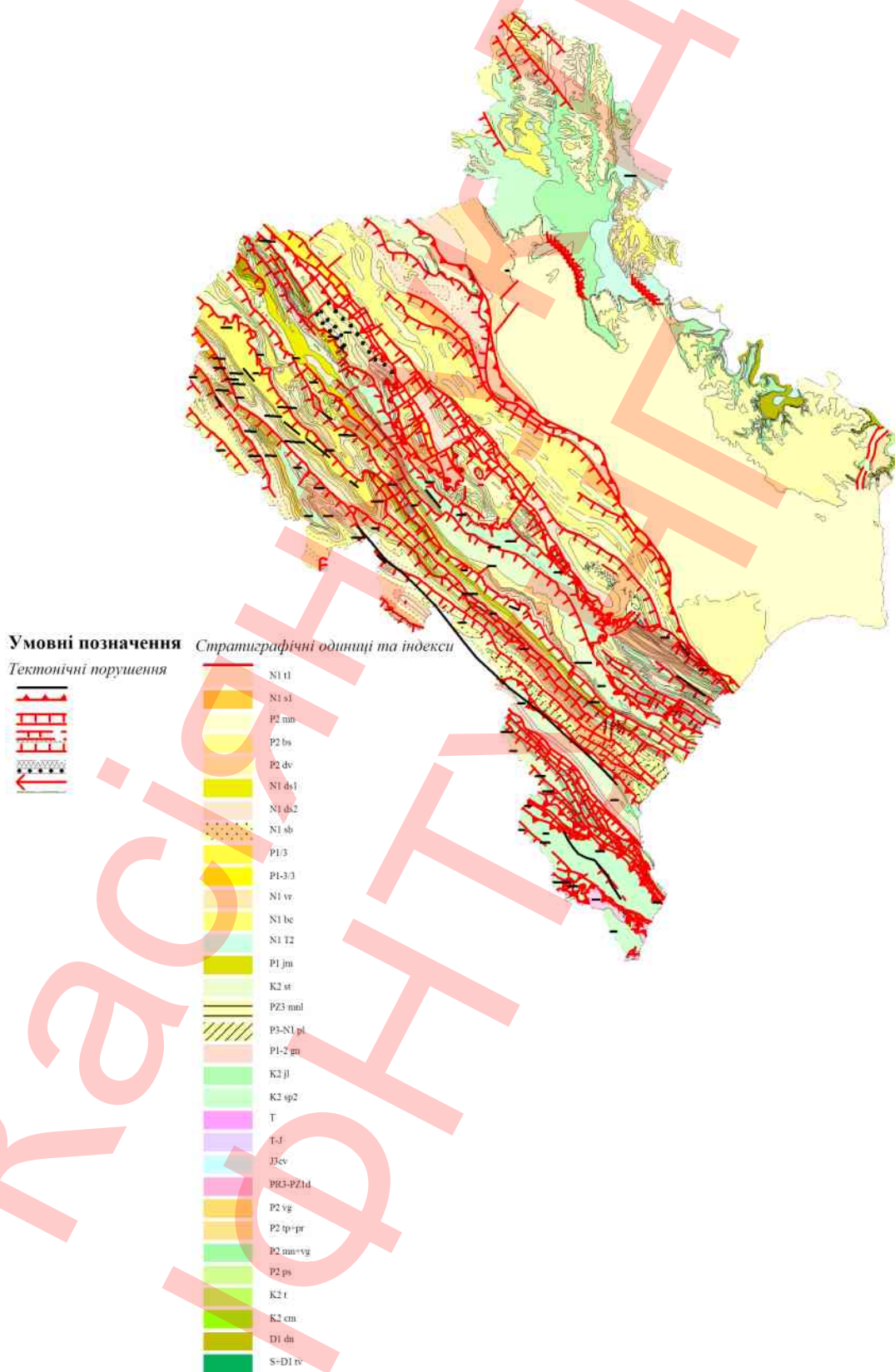
(за даними Рундквіста І.К., Геренчука К.І., Кравчука Я.С., Рудька Г.І. та ін.)



# Карта геологічних умов та тектонічних порушень

М 1: 1 000 000

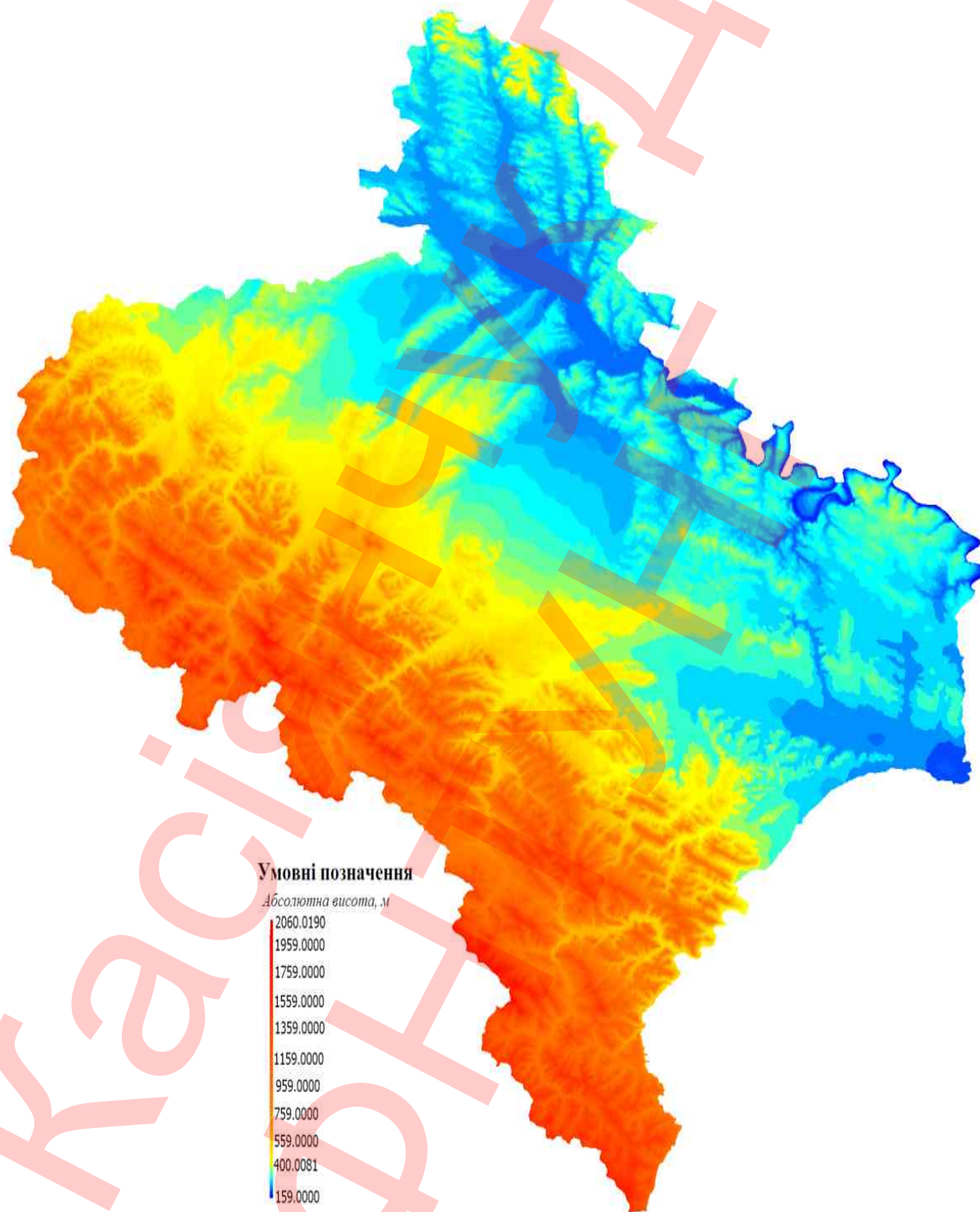
(за даними Рундквіста І.К., Геренчука К.І., Кравчука Я.С., Рудька Г.І. та ін.)





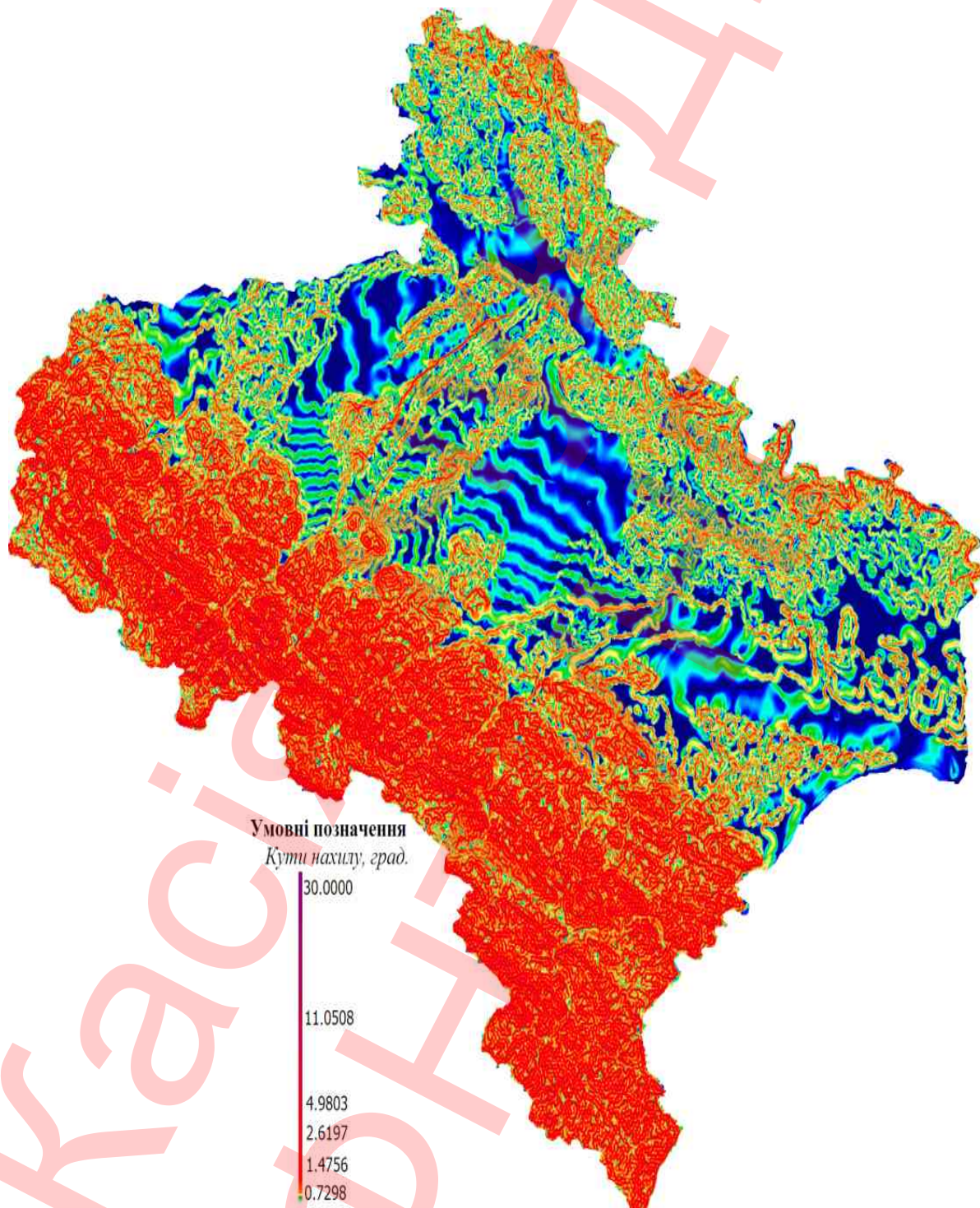
**Карта рельєфу****М 1: 1 000 000**

(за даними фізичної карти України)



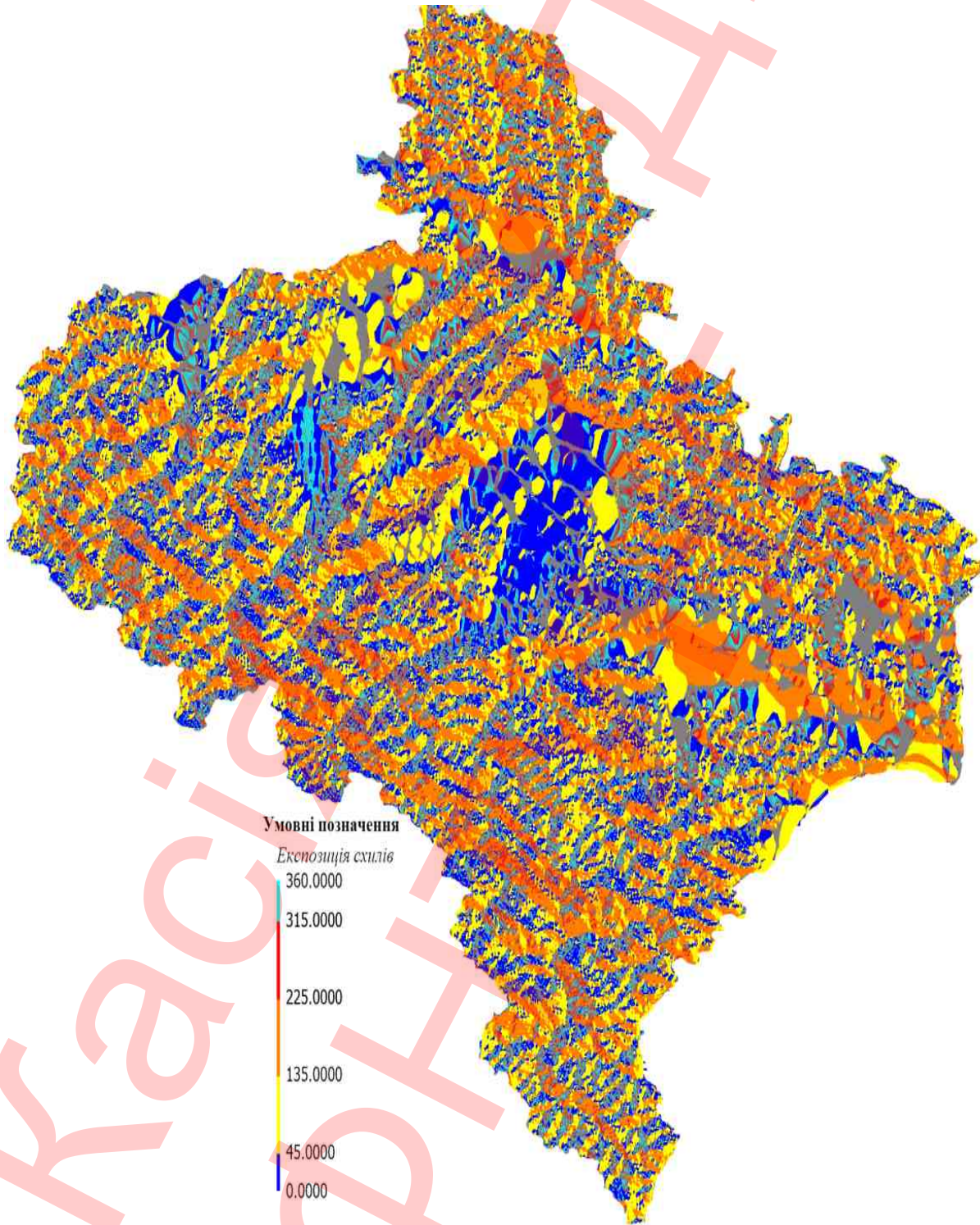
**Карта кутів нахилу денної поверхні****M 1: 1 000 000**

(за даними карти рельєфу)



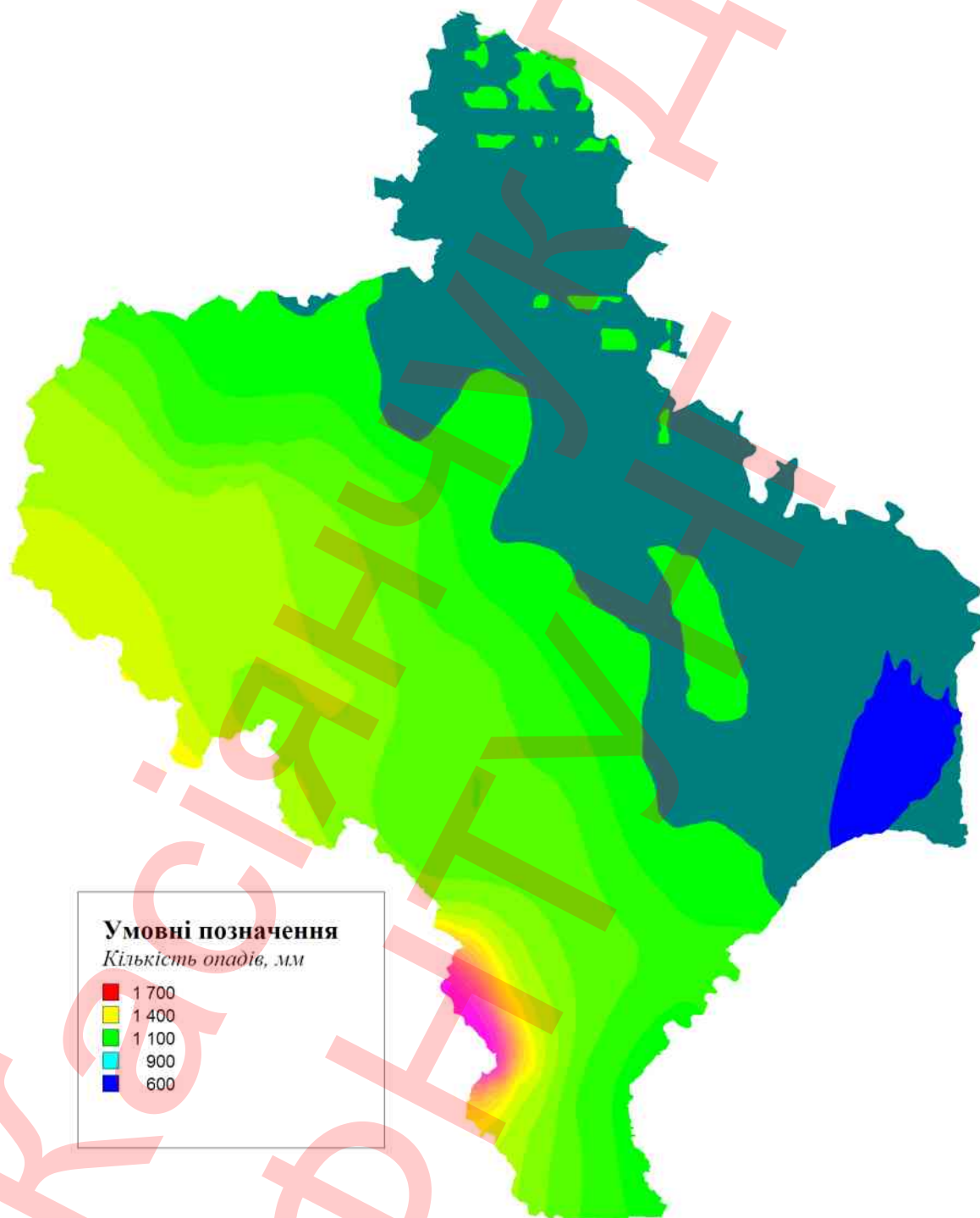
**Карта експозиції схилів****М 1: 1 000 000**

(за даними карти рельєфу)



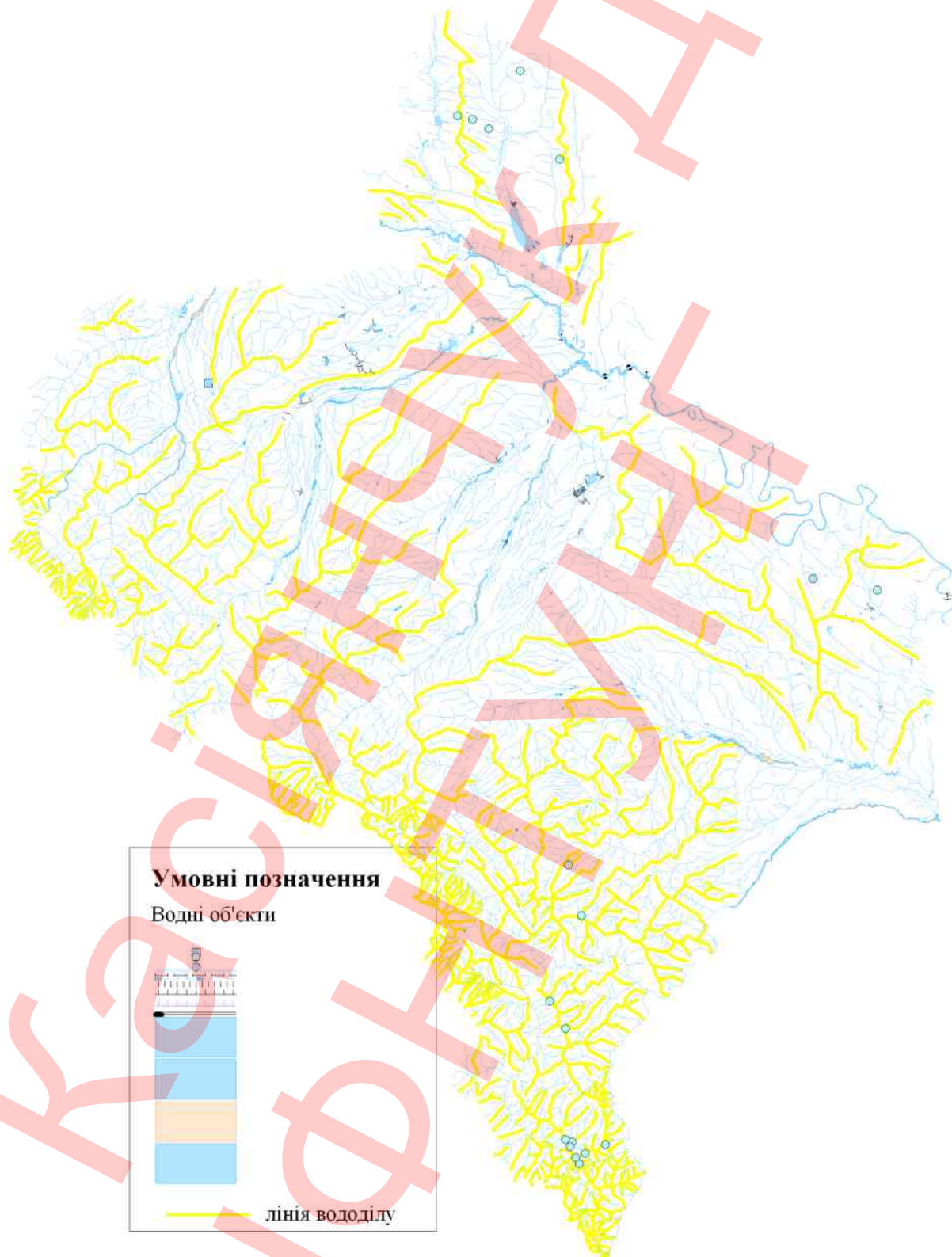
**Карта кількості опадів****М 1: 1 000 000**

(за даними ДНВП «Геоінформ України»)



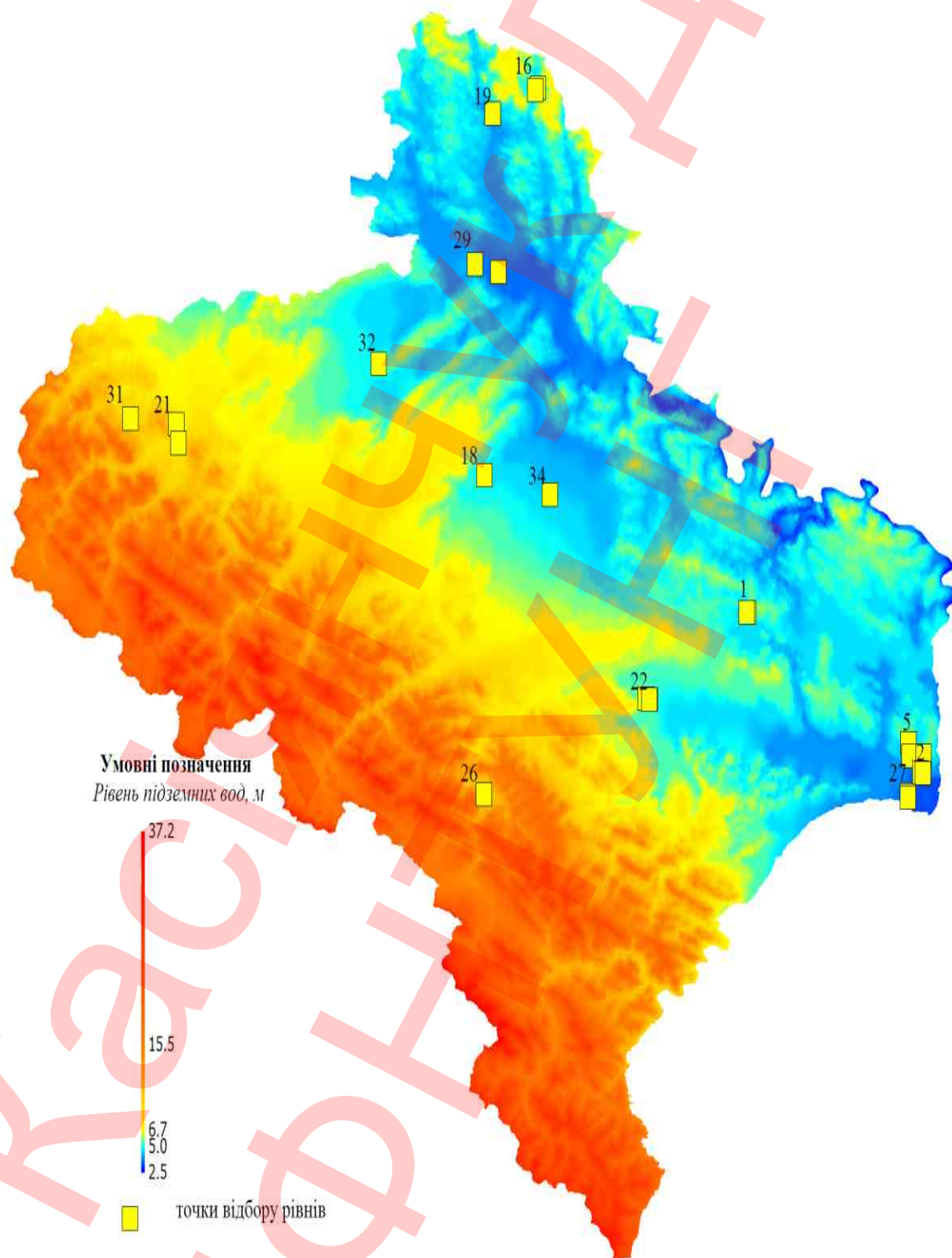
**Карта вододілів****М 1: 1 000 000**

(за даними карт рельєфу та річкової мережі)



**Карта рівнів підземних вод****М 1: 1 000 000**

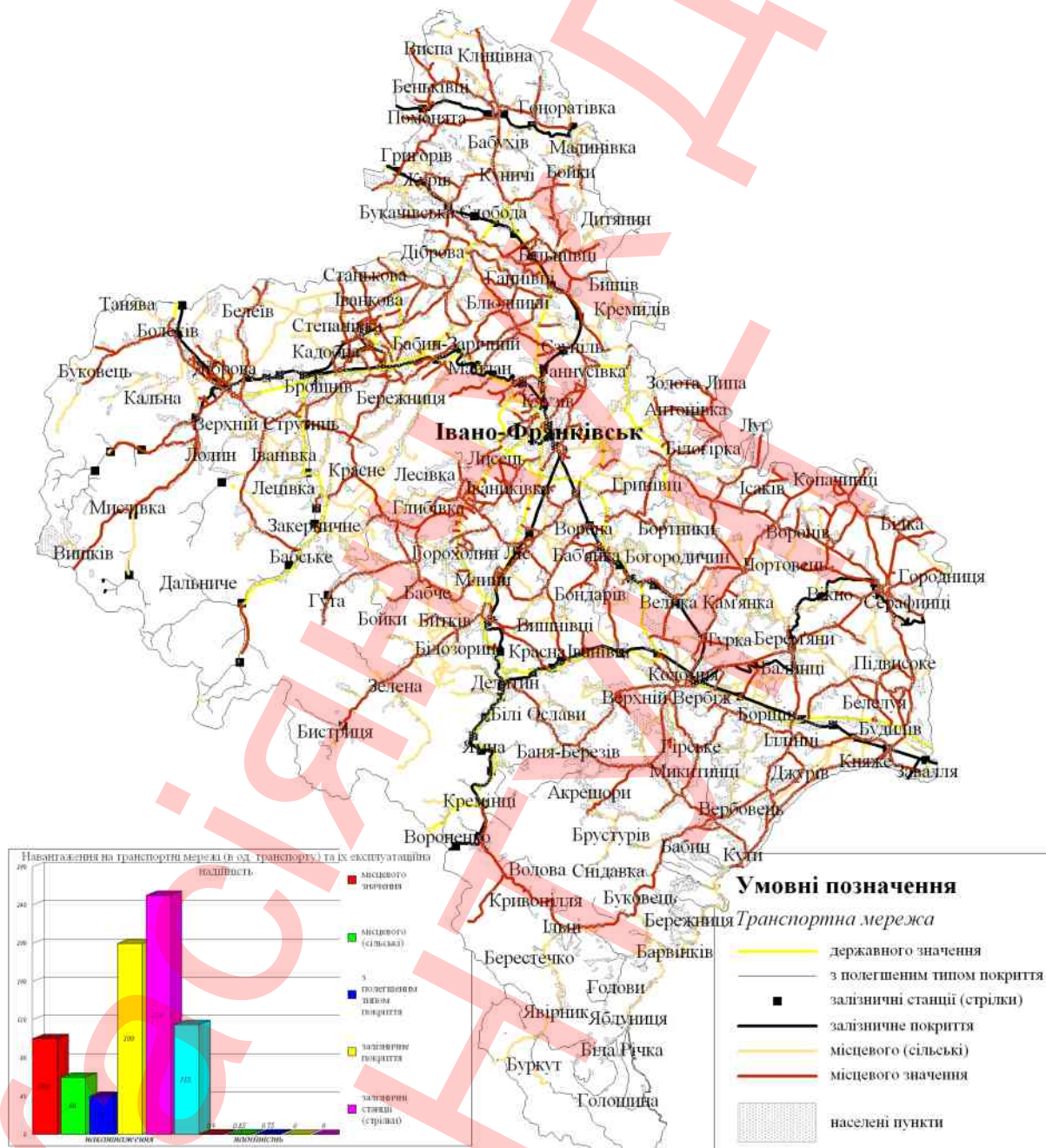
(за даними ДНВП «Геоінформ України»)



# Карта основних транспортних вібраційних навантажень

М 1: 1 000 000

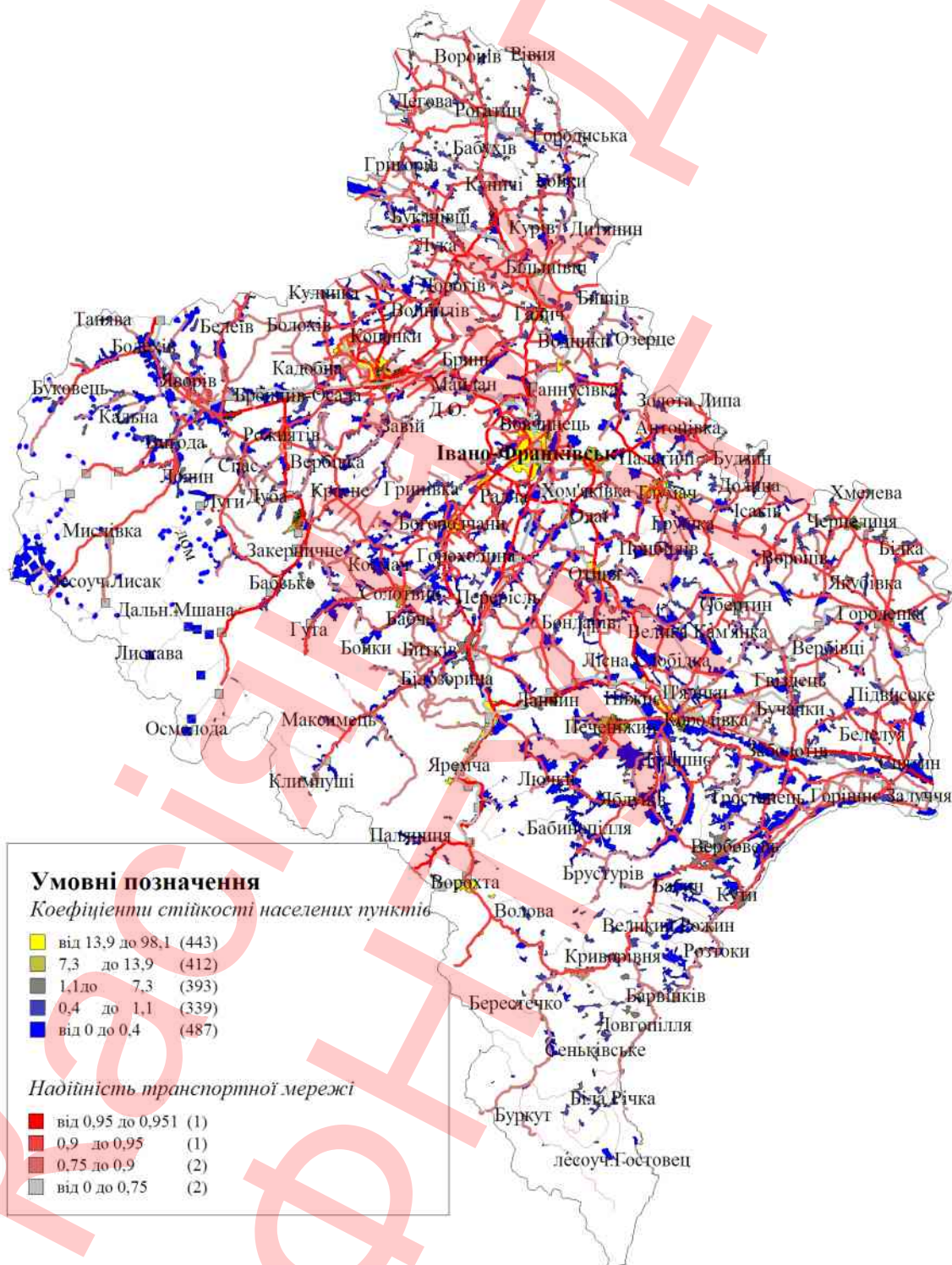
(за даними ДБН В.2.3-4:2007 та ДСН 3.3.6.039-99)



## Карта стійкості до розвитку ЕГП

М 1: 1 000 000

(за даними ДБН В.2.3-4:2007 та ДБН В.1.2-2:2006)

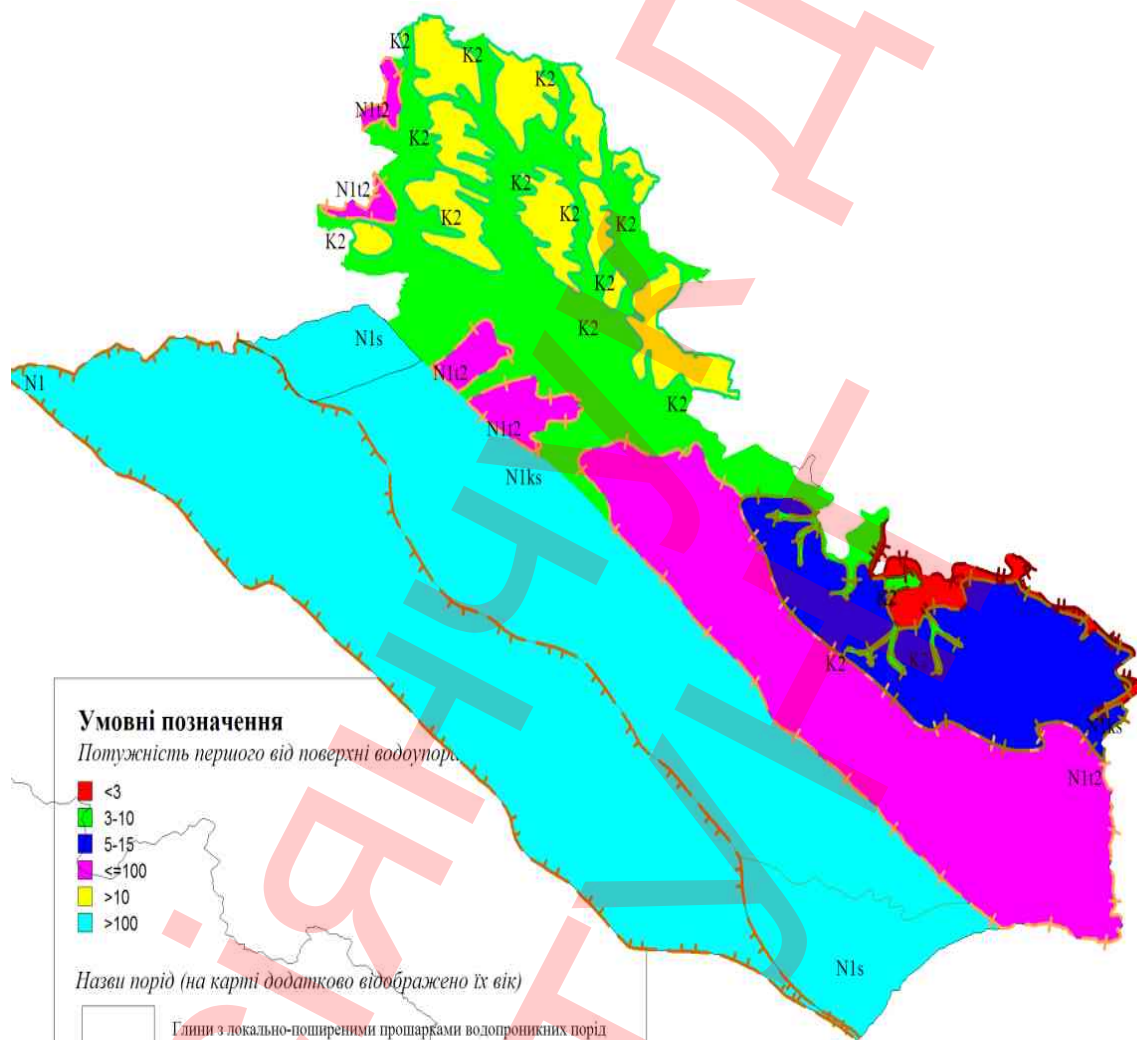




# Карта потужностей першого від поверхні водотриву

## М 1: 1 000 000

(за матеріалами Львівської ГРЕ)



### Умовні позначення

Потужність першого від поверхні водоупору

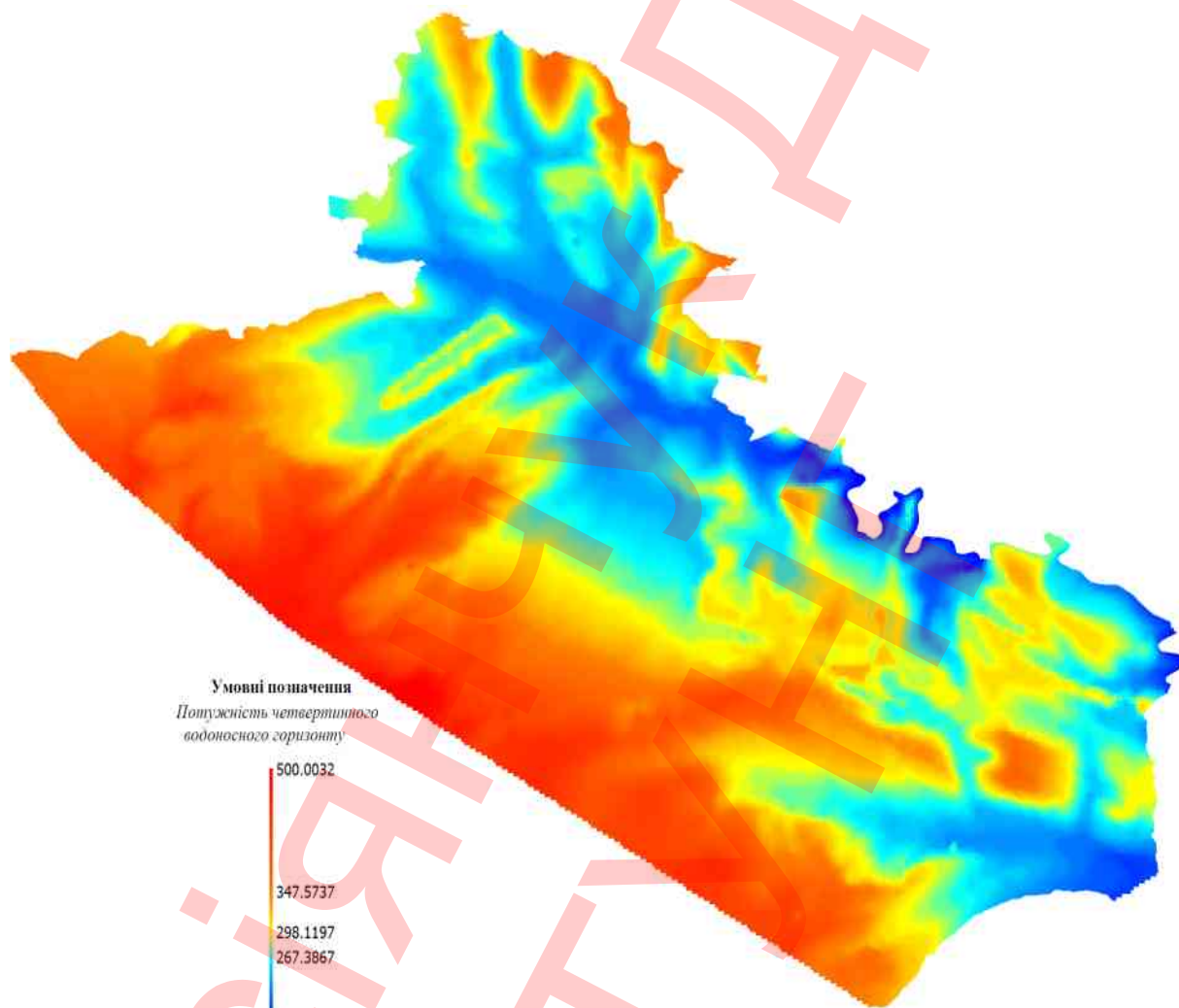
- <3
- 3-10
- 5-15
- ≤100
- >10
- >100

Назви порід (на карті додатково відображено їх вік)

- Глини з локально-поширеними прошарками водопроникних порід
- ▣ Перешарування аргілітів і алевролітів
- ▣ Глини з прошарками і лінзами водопроникних порід
- ▣ Глини
- ▣ Водотривкі утвори зони кольматції мергельно-крейдових порід
- ▣ Глини з локально-поширеними прошарками водопроникних порід
- ▣ Водотривкі утвори зони кольматції мергельно-крейдових порід
- ▣ Глини
- контур області

**Карта потужностей четвертинного водоносного горизонту****М 1: 1 000 000**

(за матеріалами Львівської ГРЕ)



**Карта рівнів ґрунтових вод****М 1: 1 000 000**

(за даними ДНВП «Геоінформ України»)

