

*Д. В. Касіянчук, М. М. Шимонюк  
Івано-Франківський національний  
технічний університет нафти і газу*

## **ПЕРЕДУМОВИ ВИКОРИСТАННЯ БАСЕЙНОВОГО ПРИНЦИПУ ПРИ ОЦІНЦІ ЕКОЛОГО-ГЕОЛОГІЧНИХ РИЗИКІВ РОЗВИТКУ ЗСУВНИХ ПРОЦЕСІВ У МЕЖАХ РІЧКИ ПРУТ**

Дослідження еколого-геологічних ризиків у межах адміністративних комплексів не дає чіткого розуміння впливу зсувних процесів на навколишнє середовище та господарську діяльність. Використання геоінформаційних технологій для моделювання ризиків значно спрощує визначення локальних зон розвитку зсувних процесів та їх еколого-геологічної оцінки. Запропонований новий підхід на основі ГІС для оцінки ризиків окремих територій за басейновим принципом. Сформовано картографічну та атрибутивну базу даних геологічних, геоморфологічних та ландшафтних факторів. Це дозволило виконати просторовий аналіз зсувної активності у межах окремих суббасейнів басейну річки Прут на основі просторового поширення зсувів та їх локалізації в річковій мережі. Виконаний статистичний аналіз даних, який дозволив обґрунтувати вибір факторних характеристик для оцінки еколого-геологічних ризиків. Розрахований інтегральний показник і порашована оцінка еколого-геологічного ризику у кожній точці зсувопрояву з інтерполяцією в межах суббасейнів річки Прут. Побудована картографічна модель рельєфу, карта ймовірностей активізації та розвитку зсувних процесів на основі комплексного вибору природно-техногенних факторів і карта еколого-геологічних ризиків розвитку зсувних процесів у межах суббасейнів басейну річки Прут. Результати моделювання свідчать що басейновий принцип оцінки ризиків значно краще виділяє зони з найбільшою ймовірністю негативного впливу на населення, яке проживає у межах суббасейнів. Найбільшим ризиком відзначаються території верхньої частини басейну Прута, зон з активною господарською діяльністю, з розподілом на суббасейну, що категоріально підтверджує основні морфометричні характеристики суббасейну, його геології та геоморфології як потенційно небезпечної зони для розвитку та активізації зсувів.

**Ключові слова:** зсув; басейн; суббасейн; факторні характеристики; ризики; оцінка.

**Постановка проблеми.** Проблема вивчення зсувних процесів та їх попередження є досить критичною щодо вибору системи оцінки негативних наслідків від їх проявів. Запобігання надзвичайним екологічним ситуаціям та катастрофам є ключовим елементом загальної системи державного управління у сфері екологічної безпеки, та виділяється авторами [1], як основу розробки моделі взаємозв'язку між гілками влади.

Процес зсувоутворення знаходиться в прямій лінійній залежності від метеорологічних умов та інтенсивності господарського освоєння території, про що свідчать дані Національних доповідей про стан техногенної та природної безпеки в Україні.

Проблема просторово-часового прогнозування зсувних процесів викладена в праці [2], де розглянуто питання регіонального прогнозування зсувів на кількісному рівні та визначено можливість прогнозування зсувів на локальному рівні геофізичними методами.

Тому існує проблема у виборі просторового розрахунку оцінок еколого-геологічних ризиків на основі статистичного аналізу даних з використанням ГІС та побудови карт просторового розвитку ЕГП для окремих локальних зон.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У праці [3] просторово-часова ймовірність прояву природної складової залежить від просторової ураженості території та часової динаміки розвитку зсувів. Для оцінки ризиків у межах населених пунктів враховувався як рівень поширеності зсувів так і кількість населення.

Метод аналогій у межах локальних зсувів [4], дозволив виділити топології зсувних сценаріїв на основі оцінки їх ризиків з урахуванням базових факторів.

У роботі [5] ризик розраховується як структура кількісної оцінки небезпеки зсувів, в яких наслідки оцінюються індивідуально з урахуванням параметрів, що впливають на розвиток зсуву та зон з особливими умовами.

Дослідження [6] 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. Автори вперше запропонували 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.

Основною метою дослідження [7] було виявлення та аналіз територій, схильних до зсувів та оцінка ризиків впливу на об'єкти культурної спадщини в межах окремих ділянок річки.

Запропонована методологія кількісної прогностичної оцінки ризиків від екзогенних геологічних процесів, яка ґрунтується на результатах досліджень просторово-часового прогнозування їх розвитку дозволила обґрунтувати методику визначення приведенного колективного селевого ризику у межах басейну річки [8].

Проведена деталізація на основі статистичного аналізу по роках, а також по місяцях усередині року з використанням взаємозалежних факторів (опаді, температура), сонячної активності (числа Вольфа), сейсмічності і т.д. дозволила авторам [9] оцінити ймовірність зсувів у майбутньому.

У роботі [10] запропонований новий метод кількісної еколого-геологічної оцінки ризиків зсувної небезпеки. Наведено алгоритм розрахунків, який включає вибір екзогенних геологічних процесів (ЕГП); аналіз просторово-часового розвитку ЕГП; створення прогностичних моделей розвитку; системи оцінки ризиків; побудову карт оцінок ризиків; узагальнення оцінок та побудова інтегральної карти. Побудовано картограму еколого-геологічної оцінки ризиків зсувної небезпеки на основі адміністративно-територіального поділу території.

**Постановка завдання.** Динамічність екзогенних геологічних процесів, зсувів зокрема, потребує пошуку нових методів аналізу ймовірного негативного впливу від їх активізації і розвитку на навколишнє природне середовище та людей. Тому постає проблема вибору способів оцінки еколого-геологічних ризиків у межах локальних територій, як продовження дослідження [10]. Для оцінки ризиків від проявів зсувних процесів вибрано територію басейну річки Прут у межах України, як територію, де найбільш поширені зсувні процеси, а негативна складова від їхньої активізації формує в кінцевому випадку значні фінансові втрати і може загрожувати життю людей.

Для досягнення мети був виконаний факторний аналіз на основі картографічних матеріалів, їх статистична обробка, виконано структурування суббасейнів у межах досліджуваної території, побудовано карту ймовірностей активізації та розвитку зсувних процесів на основі комплексного вибору природно-техногенних факторів і карту еколого-геологічних ризиків розвитку зсувних процесів на території басейну р. Прут.

**Виклад основного матеріалу.** На сучасному етапі виокремився напрямок кількісної ймовірнісної оцінки у прогнозуванні ЕГП, чому значною мірою посприяв розвиток ПС-технологій, який дозволяє визначати ступінь екологічної небезпеки за факторами, які ініціюють процес. Алгоритм [10] передбачає розрахунок кількісних факторних характеристик у точках проявів ЕГП, статистичний аналіз отриманих рядів даних з подальшим розрахунком інтегрального показника, на основі якого створюються прогностичні карти екологічної небезпеки.

Вибір методів представлення інформації щодо просторової оцінки зсувів та їх ймовірного впливу на людей з урахуванням головних зсувоініціативних факторів, дає передумови вибрати новий метод представлення результатів аналізу еколого-геологічних ризиків. Басейновий принцип в умовах, де поширення зсувних процесів є дуже активним, є чи не найбільш визначальним з огляду на геоморфологічні фактори, які впливають на розвиток небезпечних екзогенних процесів дуже сильно. Зокрема просторові характеристики, як базис ерозії, відстань до водотоку є досить визначальними факторними характеристиками на рівні з такими часовими факторами, як опади, сонячна активність, сейсмічна активність.

Адміністративно-територіальний поділ безумовно стосується фінансової складової оцінки ризиків, дає краще представлення та не може деталізувати зони, які можуть мати різні морфометричні характеристики, що є дуже важливим етапом моделювання ризиків.

У процесі аналізу було обрано 3 групи факторів для природно-техногенної складової із 8 факторними характеристиками, тобто мірами визначеності фактору (табл. 1).

Для аналізу факторних характеристик була сформована картографічна база даних, яка містила інформацію про дорожню мережу, водні об'єкти, населені пункти, висоти, лісові насадження, інженерно-геологічне районування та районування басейнів для досліджуваної території.

Окремо сформований шар із зсувами для того, щоби можна було працювати із просторовою інформацією в середовищі програми ГІС MapInfo. Картографічні шари необхідні для розрахунку просторових параметрів факторних характеристик, які є мірою визначення фактора.

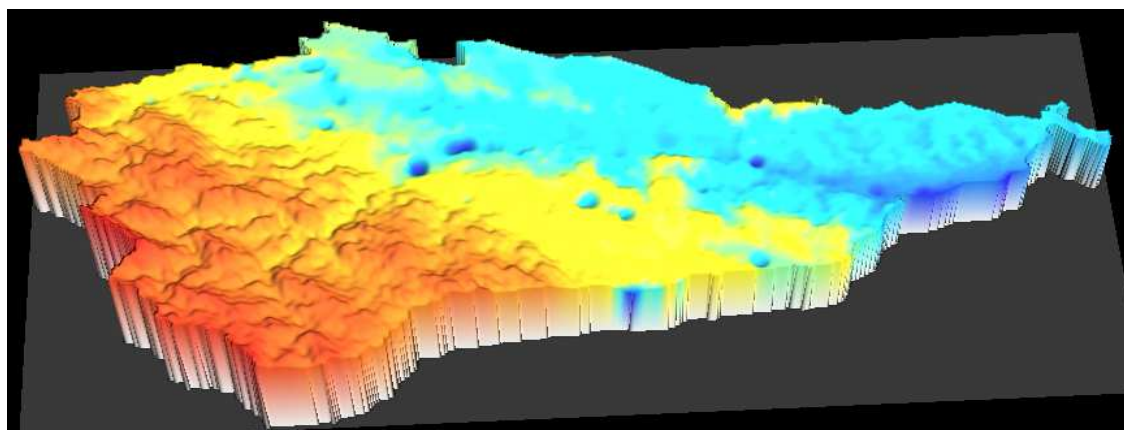
Таблиця 1

**Фактори активізації зсувних процесів (природно-техногенна складова)**

Група факторів	Фактор	Характеристика його дії на процес	Факторна характеристика
Геологічні	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)
Геоморфологічні	Базис ерозії	Характеризує зміну гідродинамічного тиску	Відстань до базису ерозії
	Висота	Визначає тип і склад гірських порід, визначає мікрогеокліматичну	Абсолютна оцінка над рівнем моря
	Крутість схилу	Визначає напружений стан схилу	Кут нахилу денної поверхні
	Вододіл	Визначає гідрологічні умови стоку	Ураженість річкового басейну
	Напрямок схилу		Експозиція схилу
	Наявність населених пунктів	Зменшення опірності ґрунтів гірських порід, зміна мікрокліматичних й гідрологічних умов	Відстань до населеного пункту
Ландшафтні	Рослинність	Визначає характер поверхневого стоку та об'єм зсувного тіла	Зміна лісових площ, відстань до границі лісу

У MapInfo є ряд вбудованих функцій інструменти (Tools), складний запит (SQL select), оновлення колонки (Update Column), які дозволяють швидко розрахувати будь-які параметри.

Важливим етапом є аналіз геоморфологічних характеристик зсуву. Для цього будують картографічну модель із використанням вбудованого додатку Vertical Mapper. На рисунку 1 представлено результати моделювання рельєфу у форматі 3D.

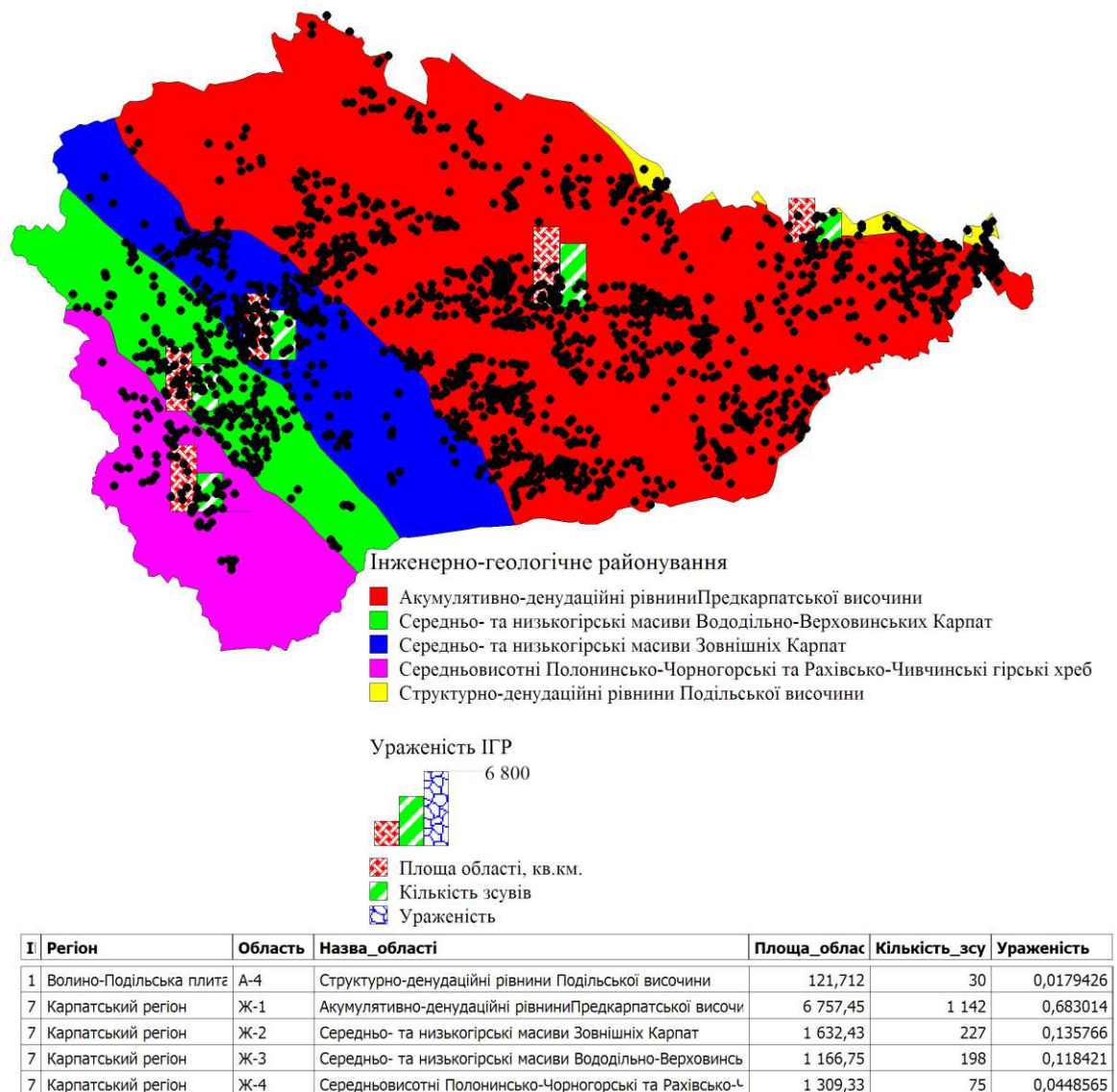


**Рис.1. 3D модель басейну р. Прут у межах України**

У процесі аналізу було обрано 1681 зсувну ділянку, для яких розраховано всі факторні характеристики на основі даних картографічних матеріалів (за допомогою програми ГІС MapInfo Professional). Статистичний аналіз проведено з допомогою програми STATISTICA.

Територія басейну (рис. 2) значною мірою уражена зсувними процесами, що вказує на необхідності оцінки ризиків у межах території дослідження.

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 (рис. 3).



**Рис.2. Ураженість зсувними процесами на основі інженерно-геологічного районування**

Регуляризація даних значно впливає на зміну закону розподілу. Зменшення об'єму вибірки та відсутність уражаних значень позитивно позначається на достовірності значень вибірки та законі розподілу, а з другої сторони відбувається «штучно», завдяки процедурі інтерполяції чи екстраполяції, а не реальним картографічним розрахунковим даним. Підтвердженням цього є аналіз на відповідність одному із законів розподілу (рис. 3).

Окремим важливим етапом дослідження є оцінювання внеску окремих факторних характеристик у процес розвитку й активізації зсувів. 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.

Для їх оцінки необхідно провести кореляційний аналіз між факторними характеристиками. Їх результат представлений на рисунку 4.



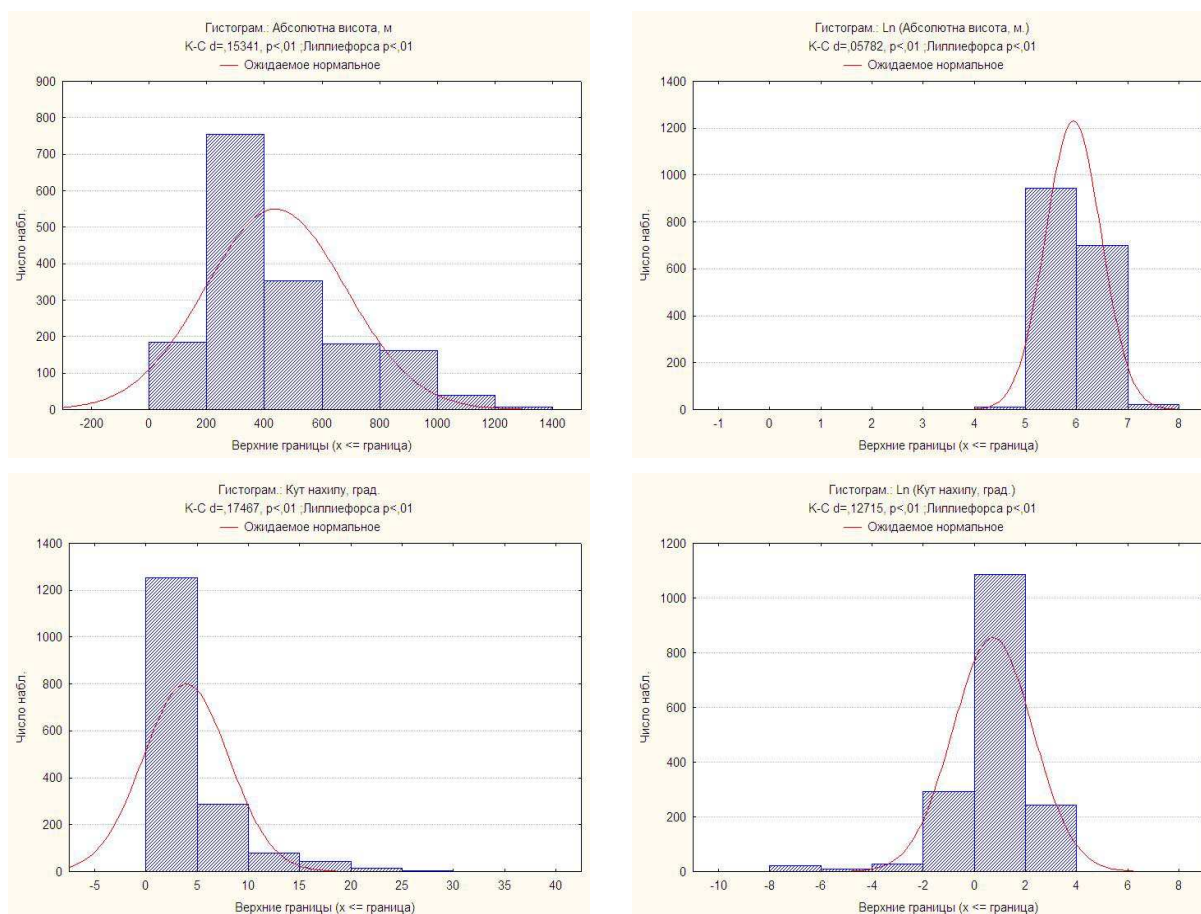


Рис. 3. Гістограми законів розподілу факторних характеристик розвитку зсувів (перша колонка – вихідні дані, друга – прологарифмовані значення)

Як видно з гістограм, закони розподілу даних не є однорідними, що знову буде продемонстровано нижче на рисунку 4. Це говорить про різну природу фактору та його ймовірний вплив на процеси розвитку та активізації зсувів.

Оценки параметров для всех распределений (зсуви31)						
Перемен.:Абсолютна висота, м N = 1681						
(p-уровни вычисляются для известных параметров)						
Распредел.	Заданный Парам 1	Заданный Парам 2	Парам 1	Парам 2	K-C d	K-C p-уров.
Негауссов. (асимметрия, эксцесс)			1,0622	0,2575	0,048834	p<.01
Логнормальное (порог, масштаб, форма)	0,00		5,9419	0,5286	0,063785	p<.01
Экстрем. значение (полож., масштаб)			331,2350	169,3499	0,080240	p<.01
Гамма (порог, масштаб, форма)	0,00		119,2778	3,6783	0,083667	p<.01
Вейбулла (порог, масштаб, форма)	0,00		498,2197	1,9387	0,111683	p<.01
Релея (порог, масштаб)	0,00		355,0375		0,119516	p<.01
Нормал. (среднее, сигма)			438,7428	244,2203	0,153405	p<.01
Экспоненциальное (порог, масштаб)	0,00		438,7428		0,295505	p<.01
Бета (порог, сигма, форма, форма)	0,00	1,000000				--

Оценки параметров для всех распределений (зсуви31)						
Перемен.:Ln (Абсолютна висота, м.) N = 1681						
(p-уровни вычисляются для известных параметров)						
Распредел.	Заданный Парам 1	Заданный Парам 2	Парам 1	Парам 2	K-C d	K-C p-уров.
Гамма (порог, масштаб, форма)	0,00		0,057425	103,4183	0,052881	p<.01
Нормал. (среднее, сигма)			5,938848	0,5447	0,057822	p<.01
Логнормальное (порог, масштаб, форма)	0,00		1,776673	0,1066	0,067392	p<.01
Негауссов. (асимметрия, эксцесс)			-0,384419	4,9678	0,097697	p<.01
Экстрем. значение (полож., масштаб)			5,667349	0,9510	0,212211	p<.01
Вейбулла (порог, масштаб, форма)	0,00		7,922654	1,4025	0,422237	p<.01
Релея (порог, масштаб)	0,00		4,217016		0,499858	p<.01
Экспоненциальное (порог, масштаб)	0,00		5,938848		0,560821	p<.01
Бета (порог, сигма, форма, форма)	0,00	1,000000				--

Рис. 4. Оцінка параметрів розподілу для окремих факторних характеристик

Справа представлені гістограми вихідного ряду, зліва – їх прологарифмовані значення. Закон розподілу, навіть якщо оцінювати його візуально або аналізуючи результати основного статистичного аналізу, змінився для кожної із факторних характеристик. Це підтверджує теорію, про необхідність логарифмування ознак, з метою визначення їх приналежності до природної або техногенної складової процесу розвитку зсувів.

Закони розподілу факторних характеристик, які оцінювалися за критерієм Колмогорова-Смірнова показали, що закони розподілу змінилися для усіх факторів із логнормального, екстремального, експоненційного, Вейбула на негаусівський або, іншими словами, на нормальний закон розподілу. Це дає передумови для подальшого аналізу факторів з метою проведення оцінки ризиків для досліджуваної території.

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.

Перевірка законів розподілу на відповідність важлива та за своєю суттю передбачає уявлення природних процесів, як системи, що можна описати якоюсь періодичністю.

Вивчення взаємозв'язків між факторними характеристиками за допомогою кореляційного та кластерного аналізу (рис. 5) дозволяє виявити та глибше зрозуміти фізику явища, визначити найбільш інформативні факторні характеристики, що впливають на досліджуваний процес.

Корреляції (зсуви32.sta) Отмеченные корреляции значимы на уровне $p < .05000$ N=1681 (Построчное удаление ПД)								
Переменная	Абсолютна висота, м	Кут нахилу, град.	Експозиція, град.	Відстань до води, м	Відстань до дороги, м	Відстань до населеного пункту, м	Ураженість ІГР	Ураженість басейна
Абсолютна висота, м	1,00	0,44	-0,04	-0,18	0,06	0,18	-0,80	-0,04
Кут нахилу, град.	0,44	1,00	-0,06	0,00	-0,01	0,01	-0,43	0,05
Експозиція, град.	-0,04	-0,06	1,00	0,00	0,01	0,03	0,04	-0,07
Відстань до води, м	-0,18	0,00	0,00	1,00	-0,01	-0,09	0,17	0,03
Відстань до дороги, м	0,06	-0,01	0,01	-0,01	1,00	0,26	-0,02	-0,02
Відстань до населеного	0,18	0,01	0,03	-0,09	0,26	1,00	-0,15	-0,13
Ураженість ІГР	-0,80	-0,43	0,04	0,17	-0,02	-0,15	1,00	-0,04
Ураженість бас	-0,04	0,05	-0,07	0,03	-0,02	-0,13	-0,04	1,00

Корреляції (зсуви32.sta) Отмеченные корреляции значимы на уровне $p < .05000$ N=1681 (Построчное удаление ПД)								
Переменная	Ураженість ІГР	Ураженість басейну	Ln (Абсолютна висота, м.)	Ln (Кут нахилу, град.)	Ln (Експозиція, град.)	Ln (Відстань до води, м.)	Ln (Відстань до дороги, м.)	Ln (Відстань до населеного пункту, м.)
Ураженість ІГР	1,00	-0,04	-0,72	-0,36	0,00	0,17	0,05	-0,13
Ураженість бас	-0,04	1,00	-0,05	0,12	-0,08	0,03	-0,03	-0,11
Ln (Абсолютна висота, м.)	-0,72	-0,05	1,00	0,27	-0,00	-0,09	-0,00	0,13
Ln (Кут нахилу, град.)	-0,36	0,12	0,27	1,00	-0,11	0,06	0,01	0,04
Ln (Експозиція, град.)	0,00	-0,08	-0,00	-0,11	1,00	0,03	0,00	0,04
Ln (Відстань до води, м.)	0,17	0,03	-0,09	0,06	0,03	1,00	0,03	-0,03
Ln (Відстань до дороги, м.)	0,05	-0,03	-0,00	0,01	0,00	0,03	1,00	0,12
Ln (Відстань до населен	-0,13	-0,11	0,13	0,04	0,04	-0,03	0,12	1,00

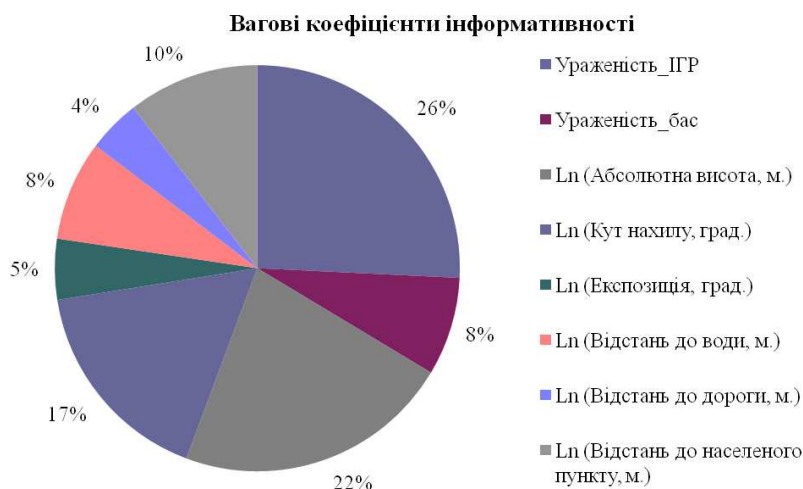
Рис. 5. Кореляційний зв'язок між факторними характеристиками до і після логарифмування (червоним відзначено вагомі значення)

Аналізуючи матрицю коефіцієнтів кореляції, слід зазначити, що жоден фактор не має переваги у своїй кореляційній залежності від іншого. Вагомим є лише значення оберненого взаємозв'язку між факторними характеристиками «Абсолютна висота» – «Ураженість ІГР». Це насамперед пояснюється тим, що інженерно-геологічне районування формується на геологічних, геоморфологічних, літологічних та тектонічних особливостях регіону. Однак цікавим є те, що найбільша ураженість ІГР там, де висоти найменші.

Кластерний аналіз вихідних та прологарифмованих даних не вказав на зміну залежностей між факторами. Для вихідних даних найближчою мірою подібності володіли морфометричні характеристики «кут нахилу – експозиція – абсолютна висота».

Логарифмування показало, що фактори змінили свою взаємозалежність, що, по-перше, свідчить про правильність їх вибору, по-друге, їх незалежний вплив, по-третє, необхідність використання у подальшому аналізі. Факторні характеристики «абсолютна висота – відстань до дороги – відстань до води» найбільш тісно знаходяться. Проте така близькість не несе вагомого впливу на загальний вибір факторів, бо їхня фізика впливу на процеси зсувоутворення є надто різною.

Результати розрахунку вагових коефіцієнтів, що представлені на круговій діаграмі (рис. 6), 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 йшла мова раніше, підтверджують тільки їхній істотний вплив з огляду на умови формування природного явища.



**Рис. 6. Кругова діаграма вагового внеску факторів**

Незалежність груп факторів, а особливо їхніх факторних характеристик, що представлені на круговій діаграмі, вказує на нерівномірний загальний внесок факторів, але їх зрозумілу з погляду фізики процесу впливу вагомість. Абсолютна висота, ураженість ІГР як найбільш вагомі факторні характеристики зумовлені, по-перше, чіткою градацією активності зсувів за висотою, по-друге, те, що ІГР містять значну інформацію про геологію окремого району загалом, що теж значно впливає на процеси зсувоутворення.

Розрахунок інтегрального показника і оцінки еколого-геологічного ризику. Критерієм підбору факторів активізації ЕГП є фізичні передумови, проаналізовані в літературних джерелах та запропоновані згідно з уявленнями про механізм їх формування й активізації.

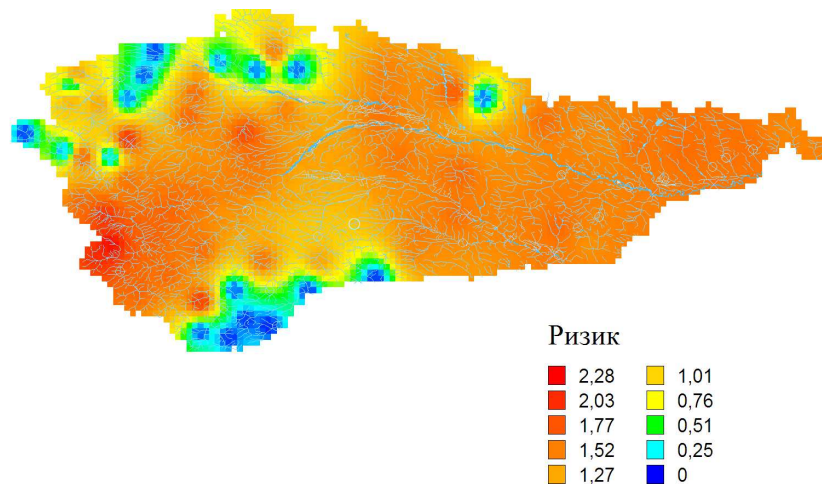
Використовуючи формулу, що характеризує криву нормального закону розподілу ймовірностей випадкової величини  $f(P_{ij})$ , включаючи перерахунок усіх ймовірностей таким чином, щоб її максимальне значення дорівнювало одиниці ( $\max(f(P_{ij}))^{-1}$ ), оцінюються ймовірність зсувної небезпеки в кожній точці обраної ділянки дослідження (1):

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

За їх результатами побудовані відповідні карти ймовірностей екологічної небезпеки активізації та розвитку небезпечних ЕГП (рис. 7).

Карта ймовірностей, що представлена на рис. 7, дає уявлення про просторове представлення зсувної небезпеки. Як видно з рисунку, ймовірнісна складова розвитку зсувних процесів, а отже, їх ризик розподілені нерівномірно у межах басейну. Окрім того, представлення дослідження зсувних процесів для річкового басейну може слугувати як основа для такого роду досліджень, на противагу дослідженням у межах адміністративних областей. У південній та північній частині

басейну ймовірність розвитку зсувів близька до нуля. Це в основному продиктоване тим, що ці території є рівнинними, кути нахилу схилів невеликі, а лісистість є високою.



**Рис. 7. Схематична карта ймовірності зсувної небезпеки басейну р. Прут (для різних складових)**

Найбільша ймовірність розвитку спостерігається у високогір'ї, та скибовій частині Чернівецької області, що вкрита ґрунтами, які легко піддаються до масопереносу через інтенсивні опади, активну господарську діяльність тощо.

Сформована карта дозволяє оцінити ймовірність у будь-якій точці, а отже, є аналітично змістовною та може бути використана для створення прогнозної ГІС-моделі оцінки еколого-геологічних ризиків.

Таким чином кінцевим результатом зазначених досліджень є моделі ризиків для зсувних процесів. Карти еколого-геологічної оцінки ризиків, розраховані за формулою (2) [8,10]:

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

де  $\bar{P}_{i,t}$  – середнє значення небезпеки прояву ЕГП для і-тої ділянки,  $s_i$  - площа зсувів 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.

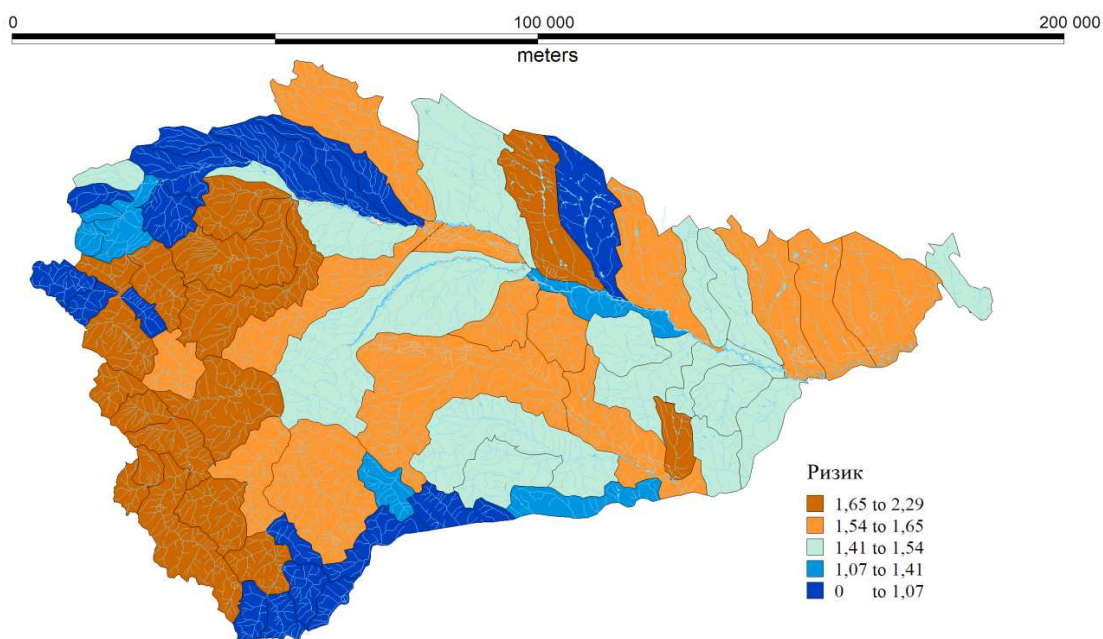
Басейн річки Прут було розподілено на 70 суббасейнів, на основі щільності річкової мережі, розподілу зсувів та морфометричних характеристик території. Мінімальна площа суббасейну складає 18,9 км<sup>2</sup> – р. Кам'янка, а найбільша – 703,8 км<sup>2</sup> – р. Черемош (її нижня частина).

На основі сформованої картографічної інформації та значення інтегрального показника з урахуванням кількості населення побудована карта еколого-геологічних ризиків (рис. 8).

Як видно з карти ризик комплексного впливу природно-техногенних факторів з урахуванням кількості населення значно покращує модель оцінки ризиків, оскільки збільшує деталізацію та не обмежується адміністративними межами, а природними бар'єрами у вигляді вододілів басейну. Найбільший ризик для населення є в південно-західній частині басейну та уздовж ділянок дельт менших річок, що пояснюється значною ураженістю силовими процесами ділянок через підрізання схилів, навантаження їх та порушенням режиму підземних вод. Усього з найвищими ризиками виділено 17 суббасейнів, які розміщені в основному локалізовані, а отже добре інтерпретують дані інтегральних показників і репрезентують коректно значення оцінок ризиків.

**Висновки.** Оцінюючи ризики, які представлені у вигляді карти за басейновим принципом, варто відзначити, що такий підхід значно чіткіше дає розуміння про можливий негативний вплив на навколишнє середовище та господарську діяльність. Карта, для окремих басейнів, побудована на основі усереднення значень ризиків конкретного суббасейну.





**Рис. 8. Карта еколого-геологічних ризиків розвитку зсувних процесів на території басейну р. Прут (у межах України)**

Слід відзначити, що градація басейну, на внутрішні виконано з розрахунку просторового представлення існуючих зсувних ділянок, висотності ділянки басейну. Такий поділ, може бути використаний для подальших досліджень, шляхом категоризації басейну за морфометричними характеристиками та гідрологічними особливостями окремих суббасейнів принципом із деталізацією факторів у межах кожного із них.

#### Література

- 1 Концептуальні підходи щодо організації моніторингу геологічного середовища і мінеральних ресурсів України в сучасних умовах / Трофимчук О. М. та ін. // Екологічна безпека та природокористування: зб. наук. пр. Київ, 2018. №4(28), С.7-26.
- 2 Прогнозування зсувів: монографія / Е.Д. Кузьменко, П.В. Блінов, О.П. Вдовина [та ін.]. Івано-Франківськ, 2016. 601 с.
- 3 Биченок М.М. Іванюта С.П., Яковлев Є.О. Ризики життєдіяльності у природно-техногенному середовищі. Київ, 2008. 160 с.
- 4 M. Bednarik, I. Yilmaz, M. Marschalko. Landslide hazard and risk assessment: a case study from the Hlohovec–Sered’ landslide area in south-west Slovakia // *Natural Hazards*, 2012. Volume 64, Issue 1, P. 547–575. doi.org/10.1007/s11069-012-0257-7.
- 5 Quantitative risk assessment of landslide by limit analysis and random fields / J.Huang et al. // *Computers and Geotechnics*, 2013. Volume 53, P. 60-67. doi.org/10.1016/j.compgeo.2013.04.009.
- 6 Jia H. Risk mapping of integrated natural disasters in China / H. Jia, D. Pan, W. Wang, W. Zhang // *Natural Hazards*, 2015. Volume 80, Issue 3., P. 2023-2035. doi.org/10.1007/s11069-015-2057-3.
- 7 I.C. Nicu. Natural risk assessment and mitigation of cultural heritage sites in North-eastern Romania (Valea Oii river basin) // *Area*, 2019. Volume 51, Issue 1, P. 142-154. DOI: 10.1111/area.12433.
- 8 Методологія кількісної прогнозування оцінки ризиків від розвитку екзогенних геологічних процесів: селеві ризики / Т.Б. Чепурна, Д.В. Касіячук, Е.Д. Кузьменко, І.В. Чепурний // *Геоінформатика*. Київ, 2016. №2(58), С. 79-85.
- 9 Methodology of time forecast of exogenous geological processes / D. Kasiyanchuk, L. Shtohryn, N. Yazlovetska, M. Levitska // 17th International Conference on Geoinformatics - Theoretical and Applied Aspects, Kyiv. Retrieved from www.scopus.com.
- 10 Розрахунок еколого-геологічної оцінки ризиків зсувної небезпеки / Д.В. Касіячук, Е.Д. Кузьменко, Т.Б. Чепурна, І.В. Чепурний // *Східно-Європейський журнал передових технологій*, 2016. Т.1, N10(79). С. 18-25. doi: 10.15587/1729-4061.2016.59687

*D. Kasiianchuk, M. Shymoniuk*  
*Ivano-Frankivsk National*  
*Technical University of Oil and Gas*

## **PREREQUISITES FOR USING BASIN PRINCIPLE IN THE ECOLOGICAL AND GEOLOGICAL RISKS ASSESSMENT OF LANDSLIDES DEVELOPMENT WITHIN THE PRUT RIVER**

The study of ecological and geological risks within the administrative complexes does not give a clear understanding of the impact of landslides on the environment and economic activity. The use of geoinformation technologies for risks modeling greatly simplifies the identification of local zones of landslide development and their ecological-geological assessment. A new GIS-based approach to basin-based risk assessment of individual areas was proposed. A mapping and attribution database of the geological, geomorphological and landscape factors was developed. This helped to perform the spatial analysis of landslide activity within separate subbasins of the Prut River Basin based on the spatial distribution of landslides and their localization in the river network. The performed statistical data analysis helped to substantiate the choice of factor characteristics for the ecological and geological risks assessment. The integrated index was calculated and the ecological and geological risk assessment was performed at each point of landslide occurrence with the interpolation within the Prut River Subbasins. The authors developed a terrain mapping model, a probabilities map of landslides intensification and development based on the complex selection of natural and man-made factors and a map of ecological and geological risks of landslides development within the Subbasins of the Prut River Basin. The modelling results show that the basin principle of risk assessment has better identified the areas with the highest probability of negative impact on the population living within Subbasins. The highest risk is observed in the upper part of the Prut Basin, areas with active economic activities, spread over the Subbasin, which categorically confirms the main morphometric characteristics of the Subbasin, its geology and geomorphology as a potentially dangerous zone for the development and intensification of landslides.

**Key words:** landslide, basin, subbasin, factor characteristics, risks, assessment.

### **References**

- 1 Kontseptualni pidkhody shchodo orhanizatsii monitorynhu heolohichnoho seredovyshcha i mineralnykh resursiv Ukrainy v suchasnykh umovakh / Trofymchuk O. M. ta in.// Ekolohichna bezpeka ta pryrodokorystuvannya: zb. nauk. pr. Kyiv, 2018. №4(28), С.7-26.
- 2 Prohnozuvannya zsuiv: monohrafiia / E.D. Kuzmenko, P.V. Blinov, O.P. Vdovyna [ta in.]. Ivano-Frankivsk, 2016. 601 s.
- 3 Bychenok M.M. Ivaniuta S.P., Yakovliev Ye.O. Ryzky zhyttiedialnosti u pryrodno-tekhnohennomu seredovyshchi. Kyiv, 2008. 160 s.
- 4 M. Bednarik, I. Yilmaz, M. Marschalko. Landslide hazard and risk assessment: a case study from the Hlohovec–Sered' landslide area in south-west Slovakia // *Natural Hazards*, 2012. Volume 64, Issue 1, P. 547–575. doi.org/10.1007/s11069-012-0257-7.
- 5 Quantitative risk assessment of landslide by limit analysis and random fields / J.Huang et.al // *Computers and Geotechnics*, 2013. Volume 53, P. 60-67. doi.org/10.1016/j.compgeo.2013.04.009.
- 6 Jia H. Risk mapping of integrated natural disasters in China / H. Jia, D. Pan, W. Wang, W. Zhang // *Natural Hazards*, 2015. Volume 80, Issue 3., P. 2023-2035. doi.org/10.1007/s11069-015-2057-3.
- 7 I.C. Nicu. Natural risk assessment and mitigation of cultural heritage sites in North-eastern Romania (Valea Oii river basin) // *Area*, 2019. Volume 51, Issue 1, P. 142-154. DOI: 10.1111/area.12433.
- 8 Metodolohiia kilkisnoi prohnoznoi otsinky ryzkyv vid rozvytku ekzohennykh heolohichnykh protsesiv: sevi ryzky / T.B. Chepurna, D.V. Kasiianchuk, E.D. Kuzmenko, I.V. Chepurnyi // *Heoinformatyka*. Kyiv, 2016. №2(58), S. 79-85.
- 9 Methodology of time forecast of exogenous geological processes / D. Kasiianchuk, L. Shtohryn, N. Yazlovetska, M. Levitska // 17th International Conference on Geoinformatics - Theoretical and Applied Aspects, Kyiv. Retrieved from www.scopus.com.
- 10 Rozrakhunok ekoloho-heolohichnoi otsinky ryzkyv zsuivnoi nebezpeky / D.V. Kasiianchuk, E.D. Kuzmenko, T.B. Chepurna, I.V. Chepurnyi // *Skhidno-levropeyskyi zhurnalпередovykh tekhnolohii*, 2016. T.1, N10(79). S. 18-25. doi: 10.15587/1729-4061.2016.596878.

*Надійшла до редакції 29 листопада 2019 р.*