

## АНАЛІЗ ВПЛИВУ ГЕОЛОГІЧНОЇ БУДОВИ ГІРСЬКИХ ПОРІД НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗСУВІВ

**Мета.** Метою цих досліджень є аналіз впливу геологічної будови з урахуванням інженерно-геологічного районування та морфологічних особливостей рельєфу на характеристики зсувів із подальшим їх статистичним аналізом для виявлення впливу комплексу зовнішніх чинників на умови формування зсувів. Використано результати опрацювання кадастру зсувів Закарпатської та Чернівецької областей, що містив інформацію про просторову базу даних та характеристики 3458 зсувів. **Методика.** Розв'язування поставленої задачі складається з таких етапів: 1) районування території для визначення закономірностей поширення та розвитку зсувів за допомогою геоінформаційних технологій (побудова геологічних карт за відповідним районуванням та підрахунок кількості зсувів у кожній інженерно-геологічній області та в кожному інженерно-геологічному районі, розрахунок площі території, що уражена зсувними процесами, відстані до базису ерозії, визначення експозиції схилу); 2) аналіз поширення зсувів відносно інженерно-геологічних одиниць; 3) аналіз поширення зсувів щодо експозиції схилу; 4) проведена статистична обробка характеристик зсувів – довжини, ширини, площі, висоти стінки зриву, потужності зсувних мас, а також морфологічних ознак рельєфу – абсолютних відміток зсувів, крутизни схилу та відстані до базису ерозії із застосуванням кореляційного та кластерного аналізів для визначення впливу зовнішніх чинників на формування зсувів; 5) аналіз впливу крутизни повздовжнього профілю на формування різних типів зсувів. **Результати.** Виконані дослідження є необхідним етапом для просторово-часового прогнозування зсувних процесів. **Наукова новизна.** За допомогою кластерного аналізу виділено групи зсувів, які відрізняються умовами формування. За геоморфологічним параметром – крутизною повздовжнього профілю на підставі проведених розрахунків закону розподілу визначено зсуви течії та зсуви блокового ковзання, які характеризуються різним механізмом зміщення. **Практична значущість.** Результати, отримані під час досліджень, можуть використовуватись для прогнозування небезпеки виникнення зсувів та завчасного запобігання можливим зсувам, розроблення протизсувних заходів, оцінювання територій для забудови.

*Ключові слова:* зсуви; часовий ряд; інженерно геологічне районування; статистичний аналіз.

### Вступ

Серед небезпечних геологічних процесів з катастрофічними наслідками екзогенні геологічні процеси посідають значне місце. До таких процесів належать зсуви, селі, карстові прояви, абразія, ерозія, підтоплення тощо.

Основними документами, які свідчать про розподіл зазначених процесів та їхні наслідки, є національні доповіді про стан техногенної та природної безпеки в Україні, які видаються з 2004 р. до поточного року. Згідно з останньою доповіддю у 2013 р. в Україні налічувалося 22942 зсуви, які охоплюють територію 2135.2 км<sup>2</sup>. Однією з найураженіших територій є Карпатський регіон, де зареєстровано 4756 зсувів площею 1738.8 км<sup>2</sup>, що становить 30.1 % загальної кількості зсувів в Україні та 81.4 % від всієї площі зсувів. Ураженість в областях регіону така: у Закарпатській – 3278 (площа 385 км<sup>2</sup>), у Чернівецькій – 1468 (площа 760 км<sup>2</sup>),

у Львівській – 1347 (площа 292.6 км<sup>2</sup>), в Івано-Франківській – 805 (площа 301 км<sup>2</sup>) [Національна..., 2013].

Активізація зсувів є проблемою світовою. Для обміну досвідом і координації наукових та практичних заходів у боротьбі зі зсувною небезпекою проводяться форуми, конгреси, конференції: “Перший всесвітній форум зі зсувів” (The First World Landslide Forum), що відбувся в листопаді 2008 р. у Токіо; “Геотехнічний аналіз схилів та зсувів – досягнення та проблеми” (Geotechnical analysis of slopes and landslides – achievements and challenges), що відбувся в 2010 р., Окленд, Нова Зеландія; V міжнародна науково-технічна конференція “Міські агломерації на зсувних територіях”, Волгоград, Росія, 2010; Міжнародна конференція “Інженерний захист територій та безпека населення: роль і задачі геоекології, інженерної геології та вишукувань” (Engeopro-2011, Москва, 2011).

Дослідженням геологічних умов, рельєфу та зв'язком їх з геоморфологічними та геометричними параметрами зсувів під час розроблення методів прогнозування зсувів та недопущення їх в Карпатах займалися автори робіт [Демчишин, 1992; Адаменко та ін., 2000; Гошовський та ін., 2002; Рудько та ін., 2006]. Аналіз просторового розподілу, типів зсувів, геоморфологічних характеристик і зв'язку їх з геологією виконано у працях закордонних вчених [Sendir та ін., 2002; Манукьян і ін., 2004; Shang та ін., 2005; Yilmaz та ін., 2006; Arbanas та ін., 2014].

Використовуючи ГІС та враховуючи фактори утворення зсувів, рельєф, ефективну товщину зсувних мас, геологію, за допомогою регресійного аналізу розраховано ймовірності сходження зсувів в одній із областей Кореї [Lee et. al., 2001].

У роботах [Гулакян та ін., 1992; Кюнтцель, 1980] виявлено райони деяких ЕГП та зв'язок їх з окремими факторами для певних територій, проте аналізу узагальненого впливу факторів на ЕГП на рівні встановлених універсальних закономірностей у цих та інших роботах немає.

Поширення та інтенсивність розвитку екзогенно-геологічних процесів, зокрема зсувів, контролюється тектонічним, сейсмічним режимом території, особливостями геологічної та геоморфологічної будови, гідрогеологічними умовами. За основу аналізу інженерно-геологічних умов території України прийнято формаційний принцип, який найповніше відображає основні особливості та просторові закономірності цих умов, поєднуючи їх у певні формації – генетичну сукупність фацій, регіональне літолого-структурне утворення з відносною витриманістю й однорідністю інженерно-геологічних властивостей у природних і техногенних умовах. Відповідно до формаційного принципу В. С. Пономар розробив схему регіонально-зонального інженерно-геологічного районування, згідно з якою виділено регіони за структурно-тектонічними ознаками, області в межах регіонів, райони в межах областей [Климчук та ін., 2008].

### **Мета**

Метою цих досліджень є аналіз впливу геологічної будови з урахуванням інженерно-геологічного районування та морфологічних особливостей рельєфу на характеристики зсувів із подальшим їх статистичним аналізом для виявлення впливу комплексу зовнішніх чинників на умови формування зсувів.

### **Методика**

Розв'язування поставленої задачі складається з таких етапів: 1) районування території для визначення закономірностей поширення та розвитку зсувів за допомогою ГІС-технологій (побудова карт за відповідним районуванням та підрахунок кількості зсувів у кожній інженерно-геологічній області та в кожному інженерно-геологічному

районі, розрахунок площі території, що уражена зсувами, відстані до базису ерозії, визначення експозиції схилу); 2) аналіз поширення зсувів відносно інженерно-геологічних одиниць; 3) аналіз поширення зсувів відносно експозиції схилу; 4) статистична обробка характеристик зсувів, яка полягала у визначенні законів розподілу, кореляційному та кластерному аналізах для визначення впливу зовнішніх факторів на формування зсувів; 5) аналіз впливу крутизни повздовжнього профілю на формування різних типів зсувів.

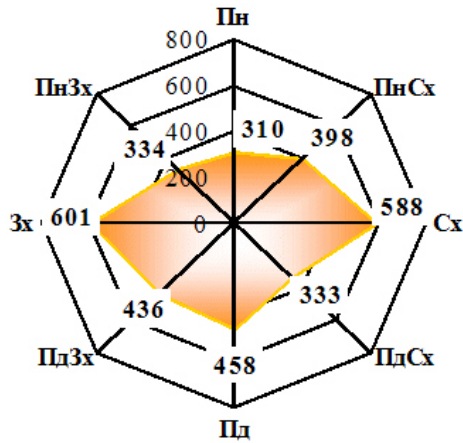
### **Результати**

Виконані дослідження є необхідною частиною для просторово-часового прогнозу зсувів.

Для аналізу впливу геологічної будови на формування зсувів вибрано дві області – Закарпатську та Чернівецьку. Зазначені адміністративні області відрізняються фізико-географічним розташуванням та геологічними умовами. Вони потрапляють у три інженерно-геологічних регіони: Закарпатський внутрішній прогин (З), Карпатську гірськоскладчасту систему (Ж), Волино-Подільський регіон (А). На території досліджень виділено сім інженерно-геологічних областей, у межах яких – 15 інженерно-геологічних районів. Райони охоплюють частину областей, що мають порівняно однорідні рельєфні умови, схожу геологічну будову з деякою певною кількістю споріднених генетичних комплексів четвертинних відкладів і характерними особливостями ураженості території геологічними процесами [Рудько та ін., 2006].

Опрацьовано кадастр зсувів (ДНВП “Геоінформ України”), що містив інформацію про 3458 зсувів. Проаналізовано геометричні характеристики зсувів, абсолютну відмітку зсувів, крутизну схилу, на якому розвивався зсув, відстань до базису ерозії, експозицію схилу. За допомогою ГІС MapInfo підраховано кількість зсувів у кожній інженерно-геологічній області, районі, розраховано щільність зсувів. Для доповнення наявної кадастрової бази даними з картографічних шарів рельєфу знято абсолютні відмітки геометричних центрів зсувів, кути нахилу повздовжнього профілю, визначено експозицію схилу, на якій розвивалися зсуви. Виконано статистичну обробку геометричних характеристик (довжина, ширина, площа, висота стінки зриву, потужність зсувних мас), а також морфологічних ознак рельєфу – абсолютних відміток зсувів, крутизни схилу та відстані до базису ерозії.

Аналізуючи просторове розташування зсувів, виявлено, що вони зосереджені переважно на схилах східної, південної та західної експозицій (рис. 1). Це, очевидно, пояснюється тим, що у зазначених сторін схилів зволоження найкраще.

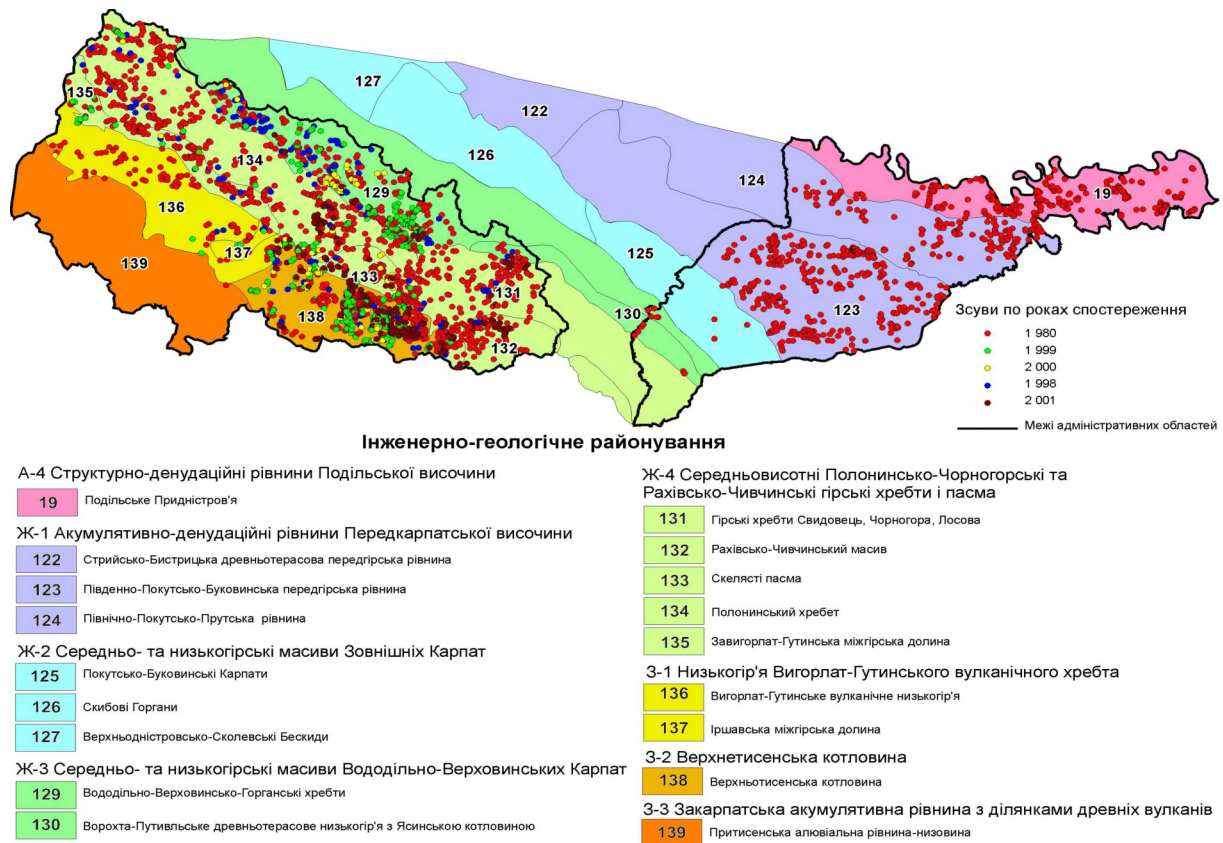


**Рис. 1.** Експозиції розташування зсувів на схилах  
**Fig. 1.** Expositions location of landslides on the slopes

Оскільки вони отримують найбільшу кількість тепла, що сприяє інтенсивному сніготаненню в осінньо-зимовий період, просочування води по тріщинах максимально зволожує поверхневі шари гірських порід, зменшуючи їхню стійкість.

Досліджуваний регіон характеризується зональністю з північного заходу на південний схід. У цьому напрямку розташовані основні інженерно-геологічні одиниці (рис. 2).

Згідно з кадастровими даними (табл. 1) за механізмом зміщення більшість зсувів належить до двох типів – зсуви течії, блокове ковзання. Розрихлений верхній шар флішових порід, сильні, довготривалі опади, близький рівень залягання ґрунтових вод, середня крутизна рельєфу  $15^{\circ}$ – $20^{\circ}$  сприяють зсуви-течії. Найпоширеніші зсуви-течії в інженерно-геологічних районах № 123–124, 131, 134, 135, де зареєстровано загалом 1647 такого типу зсувів.



**Рис. 2.** Схема інженерно-геологічного районування Закарпатської та Чернівецької областей  
**Fig. 2.** Scheme of engineering-geological zoning Transcarpathian and Chernivtsi regions

Таблиця 1

**Класифікація за механізмом зміщення зсувів відносно інженерно-геологічних регіонів та областей (шифр кадастру К 7202)**

Тип зсуву	3-1	3-2, 3-3	Ж-1, Ж-2	Ж-3	Ж-4	А-4	Разом			Відсоток від зареєстрованих		
							Ж	З	А	Ж	З	А
течія	1	97	748	64	294	350	1106	98	350	48.5	11.8	98.3
блокове ковзання	2	157		144	447		591	159		25.9	19.1	
видавлювання		6		2	6		8	6		0.4	0.7	
не визначений	29	449		246	329	6	575	478	6	25.2	68.3	1.7

У роботі [Рудько та ін., 2006] сказано, що поширення гравітаційних процесів визначається такими структурно-тектонічними умовами, як наявність насувних зон, що розмежовують структурні елементи першого порядку, а також сейсмогенерувальних поперечних та діагональних розломів. У принасувних зонах, а також у вузлах перетину повздовжніх та поперечних розривних дислокацій формується та розвивається понад 70 % зсувів та обвалів. В умовах сильно розчленованого рельєфу з крутим падінням порід вода по тріщинах потрапляє на площини нашарування; зчеплення порід по нашаруванню

істотно зменшується, тим самим створюються умови для зміщення великих блоків, особливо за наявності неотектонічних рухів та коли падіння порід збігається з напрямком нахилу поверхні схилу. Таким умовам підлягають схили інженерно-геологічних районів № 129 (Ж-3), 131-134 (Ж-4), 138 (3-2), де зафіксовано найбільше зсувів блокового ковзання (див. табл. 1). Це Вододільно-Верховинсько-Горганські, середньовисотні Полонинсько-Чорногірські та Рахівсько-Чивчинські хребти, Верхньотисенська котловина. Середні характеристики досліджуваних зсувів наведено в табл. 2.

Таблиця 2

Середні значення параметрів зсувів відносно інженерно-геологічного районування

№ з/п	Інженерно-геологічне районування	Кількість зсувів	Абсолютна відмітка зсуву, м	Крутизна повздовжнього профілю, градуси	Відстань до базису ерозії, м	Довжина, м	Ширина, м	Площа, м <sup>2</sup>	Висота стінки відриву, м	Потужність, м
1	3-1 №136	100	409	19.5	419	418.7	348	162603	5.4	16.1
2	3-1 №137	12	406.5	15.8	398	321.7	248	158885	3.2	9.2
3	3-2 №138	702	471.2	25	366	270	201	80941	3.2	6.7
4	3-3 №139	7	379.3	22.9	578	332.9	560	201098	3.6	10.6
5	Ж-1 №123	558	329.2	16.4	324	356.5	104	492626	3.8	5.6
6	Ж-1 №124	186	212.2	17.9	369	298.7	104	412538	2.6	4.2
7	Ж-2 №125	5	541.1	21	202	238	468	142980	2	2.8
8	Ж-3 №129	422	627	26.3	259	269.2	247	107309	5	11.2
9	Ж-3 №130	34	720.7	22.1	290	381.5	332	178394	6.1	13.2
10	Ж-4 №131	194	815.9	26.4	383	628.8	477	355980	8	19.2
11	Ж-4 №132	75	701.7	30.5	398	509.5	409	222295	6.4	15.3
12	Ж-4 №133	98	573.6	25.4	353	561.7	235	165108	3.5	9.3
13	Ж-4 №134	558	544.4	26.3	324	427.7	336	165005	4.4	12.4
14	Ж-4 №135	151	364.8	20.7	364	317.3	245	76658.8	3.6	11.4
15	А-4 №19	356	218.8	21.4	172	174	497	107868	2	3.6

Розглянемо детальніше вплив геологічної будови та рельєфу на характеристики зсувів окремих інженерно-геологічних областей і районів.

Закарпатський регіон складається з вулканічного Вигорлат-Гутинського пасма (3-1 № 136–137), Верхньотисенської котловини (№ 138). Їх формування і розвиток ландшафтів тісно взаємопов'язані й взаємозалежні. Вулканічне пасмо (№ 136–137) складене андезитами, андезитобазальтами та туфами. Середні висоти зсувів 408 м. У передгір'ї та на схилах вулканічного пасма формуються невеликі за розмірами та об'ємом зсуви, що розвиваються у глинистих породах пліоценової кори вивітрювання

(обводнені та роздроблені глинисті та суглинисті породи елювіально-делювіальних відкладів). Активізація їх пов'язана з техногенною діяльністю людини, рідше з аномальним зволоженням порід схилу [Багрій та ін., 2004]. Найбільше зсувів – 702 зареєстровано у Верхньотисенській котловині (3-2 № 138) в породах глинистого флішу, що залягають горизонтально, які характеризуються чергуванням аргілітів, пісковиків та вапняків [Климчук та ін., 2008]. Абсолютні відмітки зсувів у середньому становлять 472 м, потужність 6,7 м, крутизна схилів 25°. Поширені зсуви – блокового ковзання – 157 та зсуви-течі – 97.

Стратиграфо-генетичні комплекси відкладів Карпатської гірськоскладчастої системи (Ж) представлені різноманітним набором осадових, магматичних і метаморфічних порід протерозойського, палеозойського, мезозойського та кайнозойського віку.

Відклади палеогенової системи (Р) широко розвинені у вигляді флішу, який є основою зсувних схилів. Відзначено повний розріз палеоцену, що представлений трьома відділами: палеоцену, еоцену, олігоцену. У роботі [Шушняк, 2007] охарактеризовано властивості флішу: "...літологічні особливості, зокрема такі властивості флішового комплексу, як верстуватість, чергування пісковиків та аргіліто-алевролітових верств, пластичність, текстура та тріщинуватість порід визначили просторову неоднорідність процесів вивітрювання та вибіркової денудації. Літологічний чинник відобразився на характері розчленування та енергії рельєфу, формуванні кори вивітрювання, розвитку різних типів літоморфоструктур".

Найдавнішими відкладами палеоцену (Р<sub>1</sub>) є відклади ямненської світи (сірі кварцові пісковики, дрібнозернисті, слюдисті, товстошаруваті). Вони дуже поширені в Скибовій зоні Карпат.

Еоценові відклади (Р<sub>2</sub>) у вигляді смуги північно-східного простягання поширені в Скибовій зоні Карпат і представлені манявською, вигодсько-пасіччанською світами, в межах яких спостерігається широкий розвиток блокових зсувів та зсувів-течії. З відкладами бистрицької світи пов'язаний розвиток низки структурно-тектонічних зсувів. Завдяки наявності в розрізі прошарків легкоруйнівних аргілітів еоценові породи є сприятливим середовищем для розвитку екзогенних процесів.

Відклади олігоцену (Р<sub>3</sub>) поширені на території середньо та низькогірних масивів Зовнішніх Карпат.

Середньовисотні Полонинсько-Чорногірський та Рахівсько-Чивчинський гірські хребти і пасма Ж-4 № 131–135 являють собою тектонічні скиби, складені флішовими породами крейдового та палеогенового віку: глинистими сланцями, пісковиками, аргілітами, алевролітами, що різко дислоковані, розбиті розломами та насувами. У розвитку ЕГП найбільшу роль відіграють породи менілітової світи, яка складена глинистим флішем (листуваті чорні аргіліти, що чергуються з прошарками сірих міцних пісковиків і алевролітів). Характерні для розрізу прошарки доломітів, мергелів, туфів [Гошовський та ін., 2002].

Найбільш піднесена частина Українських Карпат пов'язана з внутрішньою антиклінальною зоною, яка складена потужною товщею крейдового і палеогенового флішу. Цій тектонічній зоні відповідає Полонинський хребет і гірські групи – Свидовець, Черногора, Гринявська і Лосова. Абсолютні висоти досягають 1400–1500 м. Внутрішня антиклінальна зона характеризується поширенням вирівняних поверхонь (полонин) та асиметрією поперечного профілю.

Серед різноманітних літолого-фаціальних різновидностей найсприятливішим середовищем розвитку екзогенних геологічних процесів є потужні породи тонкоритмічного двокомпонентного (крейдового та палеогенового) флішу, який, з одного боку легко руйнується, а з іншого – може бути середовищем розвитку декількох генетичних типів зсувів (течії, блокового ковзання, видавлювання), що підтверджують дані табл. 1. Найураженіший (5.1 %, табл. 3) район № 133 Скелястих пасм (зсуви розвинені в породах палеогенового віку – конгломератах, пісковиках і строкатих мергельно-глинистих породах, чорних аргілітах і мергелях [Рудько та ін., 2006].

Таблиця 3

Ураженість зсувами відносно інженерно-геологічного районування

№ ІПР	№ ІГО	Інженерно-геологічні райони (ІПР)	S ІГО, км <sup>2</sup>	S зсувів, км <sup>2</sup>	(S зсувів/S ІГО)·100 %
139	З-3	Притисенська алювіальна рівнина-низовина	2329,4	1,4	0,06
125	Ж-2	Покутсько-Буковинські Карпати	792,3	0,7	0,09
136	З-1	Вигорлат-Гутинське вулканічне низькогір'я	1653,6	16,3	0,98
137	З-1	Іршавська міжгірська долина	126,7	1,9	1,50
135	Ж-4	Завигорлат-Гутинська міжгірська долина	620,6	11,6	1,87
19	А-4	Подільське Придністров'я	2005,4	38,4	1,91
130	Ж-3	Ворохта-Путивльське древньотерасове низькогір'я з Ясинською котловиною	314,0	6,1	1,93
129	Ж-3	Вододільно-Верховинсько-Горганські хребти	1768,5	45,1	2,55
134	Ж-4	Полонинський хребет	2763,9	91,6	3,31
132	Ж-4	Рахівсько-Чивчинський масив	484,6	16,4	3,39
138	З-2	Верхньотисенська котловина	1471,4	55,2	3,75
124	Ж-1	Північно-Покутсько-Прутська рівнина	1837,4	76,7	4,18
131	Ж-4	Гірські хребти Свидовець, Черногора, Лосова	1561,6	68,7	4,40
133	Ж-4	Скелясті пасма	311,5	16,0	5,14
123	Ж-1	Південно-Покутсько-Буковинська передгірська рівнина	2697,9	274,9	10,19

Розвинені зсуви течії та блокового ковзання з такими середніми характеристиками: абсолютні відмітки 573,6 м, кути нахилу схилів 25,4°, потужність зсувних порід до 9 м. Далі за інтенсивністю розвитку зсувів виділяється район № 131 – найвисокогірніший із середніми абсолютними висотами зсувів 816 м, крутизною схилу 26,4°, де зафіксована найбільша потужність зсувних порід до 19,2 м. У геологічній будові Рахівсько-Чивчинського масиву (№ 132) головну роль відіграють сильно дислоковані палеозойські інтрузивні та метаморфічні породи — граніти, кристалічні вапняки, сланці, пісковики. Поширені також тріасові конгломерати, доломіти, юрські вапняки, крейдові сланці та пісковики. Розвинені, переважно, зсуви блокового ковзання з такими характеристиками: крутизна схилів (26,5 – 30,5°), потужність зсувних порід від 15,3 до 19,2 м. На південному схилі Полонинського хребта (№ 134) виділяються скелясті пасма з крейдових та юрських конгломератів, юрських вапняків. На цій території зареєстровано 558 зсувів площею 91,6 км<sup>2</sup>. З них найбільше зсувів блокового ковзання – 226, течії – 169. Основні морфометричні характеристики зсувів: абсолютні висоти 544 м, крутизна 26,3°, потужність зсувних мас 12,4 м.

На всій території Ж-4 зареєстровано 1076 зсувів, з яких переважають зсуви блокового ковзання – 447 та зсуви течії – 294.

На території середньо- і низькогірних масивів Вододільно-Верховинських Карпат Ж-3 особливо сильно зсувним процесам піддаються відклади в межах Вододільно-Верховинсько-Горганського хребта (№ 129), на якому зареєстровано 422 зсуви з середніми абсолютними висотами 627 м, крутими схилами (26,3°) з кам'яними осипищами, що розчленовані глибокими, терасованими долинами, потужність зсувних порід 11,2 м. Ворохта-Путівльське древньотерасове низькогір'я з Ясинською котловиною Ж-3 (№ 130) – представляє середньогірський рельєф – абсолютні відмітки зсувів у середньому 720,7 м, крутизна схилів – 22°. Широко розвинені блокові зсуви ковзання 144, зсуви-течії 64, зсуви невизначеного типу – 246. (див. табл. 1).

Найбільша кількість зсувів (744) та площа ураженості (більше ніж 14 %) зареєстрована на території акумулятивно-денудаційних рівнин Передкарпатської височини Ж1 (райони № 123, 124), які складені осадовими неогеновими відкла-

дами. Породи дислоковані. Неоген перекритий четвертинними алювіальними, алювіально-делювіальними відкладами, що нагромаджуються в річкових долинах. За механізмом зміщення – це зсуви-течії незначні за розмірами та об'ємом, абсолютні відмітки зсувних схилів (212–329 м), крутизна 16,4°, потужність зсувних мас до 5,6 м.

Отже, як бачимо, найбільша щільність зсувів припадає на гірські масиви Закарпатського внутрішнього прогину (3) та Карпатської гірськоскладчастої системи (Ж). Це, ймовірно, пояснюється тим, що уражені гірські схили характеризуються значними абсолютними відмітками – до 816 м, крутизною схилу 18 – 30,5°, потужною товщею 4,2–19,2 м вивітрілих порід вулканічного походження (Закарпатський прогин) та крейдового і палеогенового флішу (Карпатська гірськоскладчаста система).

Четвертинні породи в межах структурно-денудаційної рівнини Подільської височини (А-4) повсюдно поширені. Найширше представлені елювіальні й елювіально-делювіальні відклади, нагромаджені у вигляді гальки, щебеня, глин, суглинків, торфу, пісків. З цими породами пов'язана більшість зсувів, які розвиваються на схилах рік і струмків. Зареєстровано 356 зсувів-течій, потужність зсувних порід контролюється потужністю делювіальних відкладів і становить у середньому 3,6 м, за розмірами вони невеликі, за крутизни схилу 21,3°, абсолютні відмітки зсувів у середньому близько 219 м.

Завдяки значній кількості фактичного матеріалу виконано узагальнення статистичних характеристик параметрів зсувів та деталізація деяких зв'язків. Характер закону розподілу вивчено за допомогою К-S-d критерію Колмогорова–Смірнова, який застосовується, коли вибірка даних має значний обсяг, а закон розподілу не обов'язково підлягає нормальному. Теоретичний закон розподілу приймали, якщо розраховане значення К-S-d відповідно до обсягу вибірки було менше від критичного (табл. 4). Як видно з табл. 4, більшість параметрів підпорядковані логнормальному закону або його модифікації, що свідчить про ймовірну зміну умов формування зсувів під впливом комплексу зовнішніх факторів (екстремальних метеоумов, антропогенного фактора) і дає змогу розглядати ці параметри як результат добутку діючих зовнішніх факторів.

Таблиця 4

**Закони розподілу параметрів відносно інженерно-геологічних областей за рівня достовірності  $\alpha=0.01$**

Номер інж.-геолог. області	Обсяг вибірки	D-крит. Колмогорова–Смірнова	Абсолют. відмітка, м	Крутизна повздожнього профілю	Висота стінки зриву, м	Глибина захоплення порід, м	Довжина зсуву, м	Ширина зсуву, м	Площа зсуву, м <sup>2</sup>	Відстань до базису ерозії, м
3-1	112	0.102	Логнорм	Нормал.	Логнорм	Вейбула	Логнорм	Логнорм	Логнорм	Логнорм
3-2, 3-3	709	0.097	Екстрем	Нормал.	Логнорм	Логнорм	Логнорм	Логнорм	Логнорм	Логнорм
Ж-1, Ж-2	749	0.076	Логнорм	Екстрем	Логнорм	Екстрем	Логнорм	Логнорм	Логнорм	Логнорм
Ж-3	456	0.056	Нормал.	Нормал.	Логнорм	Логнорм	Вейбула	Вейбула	Логнорм	Вейбула
Ж-4	1076	0.029	Логнорм	Логнорм	Екстрем	Екстрем	Вейбула	Вейбула	Логнорм	Логнорм
А-4	356	0.185	Екстрем	Екстрем	Логнорм	Екстрем	Логнорм	Експон	Логнорм	Екстрем



Як зазначено в роботі [Кузьменко та ін., 2004], “не виключено, що якийсь з цих факторів або декілька факторів відіграли вирішальну роль у формуванні зсувів, адже при приблизно рівному впливі факторів ми мали б нормальний закон розподілу ймовірностей”.

Далі виконали розрахунок зв'язків на рівні парної кореляції для виявлення взаємозв'язку геометричних параметрів зсувів та геоморфологічних факторів (табл. 5).

Розглянемо деякі зв'язки. Істотну пряму залежність виявлено для взаємозалежних факторів – геометричних характеристик зсувів: висота стінки зриву, глибина захоплення порід, довжина зсуву, ширина зсуву, площа зсуву. Між висотою стінки зриву, глибиною захоплення порід (потужністю) та розмірами зсувів існує прямий зв'язок  $0.5 \div 0.75$  для Карпатського регіону (Ж-1 – Ж-4),  $0.24 \div 0.62$  для Закарпатського регіону (З-1 – З-2).

Зв'язок між параметрами, абсолютна відмітка, крутизна повздожнього профілю, відстань до базису ерозії свідчать про вплив рельєфу. Між абсолютною відміткою та крутизою повздожнього профілю обернена залежність ( $-0.13 \div -0.51$ ) переважно для рівнинних областей Ж-1 (№ 123–124), Ж-2 (№ 125), Ж-3 (№ 130), Ж-4 (№ 135) та пряма ( $0.08 \div 0.13$ ) для більшості гірських ландшафтів Ж-4 (№ 131, 133) та З-1 (136–137), З-2 (138), що логічно – зі збільшенням абсолютних відміток ростуть кути нахилу схилів. Для низькогірного рельєфу ( $212 \div 627$  м) середньовисотних хребтів Складчастих Карпат та Подільської височини Ж-1 (№ 124), Ж-3 (№ 129), Ж-4, (№ 133–134), А-4 (19) характерне близьке розташування зсувів до річок.

Активізація зсувів тісно пов'язана з водним режимом річок. Особливо збільшується частота та кількість цих явищ у періоди високої водності, коли проходять катастрофічні паводки [Климчук та ін., 2008].

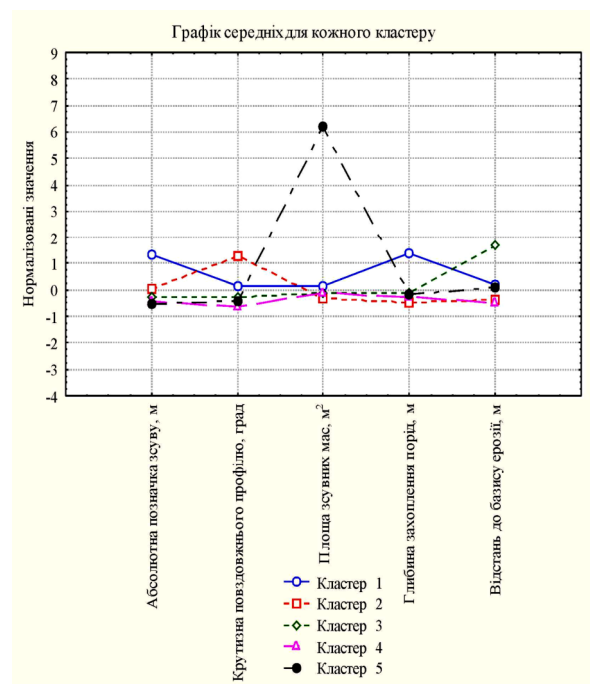
Повені в осінньо-зимовий та паводки у весняно-літній періоди руйнують русла річок, розвиваючи бічну ерозію, а отже, створюючи умови для сповзання ґрунту. Про це свідчить прямий зв'язок ( $0.16 \div 0.39$ ) між абсолютними відмітками та відстанями до базису ерозії. Отже, можна зробити висновок, що на формування зсувів впливає річна ерозія.

Від'ємна кореляція ( $-0.16$ ) свідчить про те, що у районах З-1 (136–137), Ж-1 (№ 123) зсуви відбуваються далеко від річок. Крім цього, для Закарпатського та Карпатського регіонів характерний обернений зв'язок ( $-0.09 \div -0.14$ ) між крутизою повздожнього профілю та відстанню до базису ерозії, тобто чим крутіший схил, тим віддаленіша ріка.

Відсутність тісного зв'язку між досліджуваними незалежними параметрами, а також

відмінність законів розподілу для їхніх значень зумовлена тим, що зсуви формуються не лише під впливом просторових умов – геологічної будови, літологічного складу, рельєфу, ступеня зруйнованості верхнього шару порід, але й значною мірою зумовлені зовнішніми впливами – аномальними метеоумовами, антропогенним фактором.

Для класифікації зсувів за спорідненими групами ознак використано кластерний аналіз, який дав змогу виявити певну міру близькості за геоморфологічними та геометричними параметрами зсувів (рис. 3). Виокремлено п'ять груп (кластерів) рис. 3, табл. 6.



**Рис. 3.** Кластерний аналіз параметрів зсувів  
**Fig. 3.** Cluster analysis parameters landslides

Перший кластер виділяє високогірні зсуви зі значними глибинами захоплення порід (потужностями). Для другого кластера характерні середньовисотні зсуви зі значною крутизою схилів, невеликими площами та глибинами захоплення порід – це зсуви блокового ковзання. Третій кластер виділяє зсуви, розміщені далеко від річкової мережі (базису ерозії). Четвертий кластер показує вплив річкової ерозії (бічна ерозія схилу) на формування зсувів, вони розташовані на пологих схилах і мають невелику потужність. Такі характеристики відповідають зсувам-течії. П'ятий кластер охоплює зсуви з великими площами. Отже, кластерний аналіз показав, що характеристики зсувів визначаються різними умовами формування зсувів.

Кут нахилу денної поверхні схилу є одним з визначальних факторів утворення зсувів [Рудько та ін., 2006].

Таблиця 5

Коефіцієнти парної кореляції між параметрами зсувів

Параметри	1	2	3	4	5	6	7	8
3-1 (136, 137) N=112								
Абсолют. відм.	1.0	0.1	-0.2	-0.2	-0.1	-0.2	-0.3	-0.2
Крутизна, град.	0.1	1.0	0.1	0.0	0.2	0.2	0.0	0.1
Висота ст. зриву	-0.2	0.1	1.0	0.4	0.4	0.4	0.9	0.1
Ширина зсуву, м	-0.2	0.0	0.4	1.0	0.4	0.7	0.4	0.3
Довжина зсуву, м	-0.1	0.2	0.4	0.4	1.0	0.6	0.2	0.1
Площа зсуву, м <sup>2</sup>	-0.2	0.2	0.4	0.7	0.6	1.0	0.3	0.1
Глиб. захопл.	-0.3	0.0	0.9	0.4	0.2	0.3	1.0	0.1
Відст. до баз.ер.	-0.2	0.1	0.1	0.3	0.1	0.1	0.1	1.0
Ж-1 (№123) N=558								
Абсолют. відм.	1.0	-0.1	-0.3	-0.1	0.0	-0.1	-0.4	-0.2
Крутизна, град.	-0.1	1.0	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0
Висота ст. зриву	-0.3	0.2	1.0	0.2	0.0	0.1	0.7	0.2
Ширина зсуву, м	-0.1	0.1	0.2	1.0	0.3	0.7	0.2	0.0
Довжина зсуву, м	0.0	0.1	0.0	0.3	1.0	0.7	0.1	-0.1
Площа зсуву, м <sup>2</sup>	-0.1	0.1	0.1	0.7	0.7	1.0	0.1	0.0
Глиб. захопл.	-0.4	0.1	0.7	0.2	0.1	0.1	1.0	0.1
Відст. до баз.ер.	-0.2	0.0	0.2	0.0	-0.1	0.0	0.1	1.0
Ж-3 (№129) N=422								
Абсолют. відм.	1.0	-0.2	0.3	0.5	0.6	0.5	0.5	0.4
Крутизна, град.	-0.2	1.0	0.1	-0.1	-0.2	-0.2	-0.1	-0.1
Висота ст. зриву	0.3	0.1	1.0	0.5	0.5	0.5	0.8	0.2
Ширина зсуву, м	0.5	-0.1	0.5	1.0	0.7	0.8	0.7	0.3
Довжина зсуву, м	0.6	-0.2	0.5	0.7	1.0	0.8	0.7	0.4
Площа зсуву, м <sup>2</sup>	0.5	-0.2	0.5	0.8	0.8	1.0	0.6	0.3
Глиб. захопл.	0.5	-0.1	0.8	0.7	0.7	0.6	1.0	0.3
Відст. до баз.ер.	0.4	-0.1	0.2	0.3	0.4	0.3	0.3	1.0
Ж-4 (№131) N=194								
Абсолют. відм.	1.0	0.1	0.3	0.3	0.3	0.2	0.3	0.0
Крутизна, град.	0.1	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.1	-0.1
Висота ст. зриву	0.3	0.0	1.0	0.5	0.5	0.2	0.9	0.1
Ширина зсуву, м	0.3	0.0	0.5	1.0	0.7	0.3	0.6	0.2
Довжина зсуву, м	0.3	0.0	0.5	0.7	1.0	0.3	0.6	0.2
Площа зсуву, м <sup>2</sup>	0.2	0.0	0.2	0.3	0.3	1.0	0.2	0.2
Глиб. захопл.	0.3	-0.1	0.9	0.6	0.6	0.2	1.0	0.0
Відст. до баз.ер.	0.0	-0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.0	1.0
Ж-4 (№133) N=98								
Абсолют. відм.	1.0	0.1	0.0	0.2	0.0	0.1	0.1	0.2
Крутизна, град.	0.1	1.0	-0.4	-0.4	-0.3	-0.2	-0.5	-0.1
Висота ст. зриву	0.0	-0.4	1.0	0.5	0.1	0.1	0.9	0.1
Ширина зсуву, м	0.2	-0.4	0.5	1.0	0.4	0.3	0.6	0.3
Довжина зсуву, м	0.0	-0.3	0.1	0.4	1.0	0.2	0.2	0.2
Площа зсуву, м <sup>2</sup>	0.1	-0.2	0.1	0.3	0.2	1.0	0.2	0.2
Глиб. захопл.	0.1	-0.5	0.9	0.6	0.2	0.2	1.0	0.2
Відст. до баз.ер.	0.2	-0.1	0.1	0.3	0.2	0.2	0.2	1.0
Ж-4 (№135) N=151								
Абсолют. відм.	1.0	-0.1	-0.2	-0.3	-0.4	-0.2	-0.4	-0.1
Крутизна, град.	-0.1	1.0	0.2	0.1	0.1	0.1	0.2	-0.1
Висота ст. зриву	-0.2	0.2	1.0	0.7	0.4	0.5	0.9	0.0
Ширина зсуву, м	-0.3	0.1	0.7	1.0	0.6	0.7	0.7	0.1
Довжина зсуву, м	-0.4	0.1	0.4	0.6	1.0	0.7	0.5	0.2
Площа зсуву, м <sup>2</sup>	-0.2	0.1	0.5	0.7	0.7	1.0	0.5	0.1
Глиб. захопл.	-0.4	0.2	0.9	0.7	0.5	0.5	1.0	0.0
Відст. до баз.ер.	-0.1	-0.1	0.0	0.1	0.2	0.1	0.0	1.0
3-2 (138) 3-3 (139) N=709								
1.0	0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.2	0.0
0.1	1.0	-0.2	-0.1	-0.2	-0.2	-0.2	-0.3	-0.1
-0.1	-0.2	1.0	0.6	0.5	0.5	0.5	0.9	0.1
-0.1	-0.1	0.6	1.0	0.6	0.6	0.6	0.6	0.1
-0.1	-0.2	0.5	0.6	1.0	0.6	0.6	0.6	0.1
-0.1	-0.2	0.5	0.6	0.6	1.0	0.5	0.1	0.1
-0.2	-0.3	0.9	0.6	0.6	0.5	1.0	0.1	0.1
0.0	-0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	1.0
Ж-1 (№124) N=186								
1.0	-0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.2
-0.1	1.0	0.1	-0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.1	0.1	1.0	0.2	0.2	0.1	0.4	0.2	0.2
0.1	-0.1	0.2	1.0	0.2	0.4	0.1	0.0	0.0
0.1	0.0	0.2	0.2	1.0	0.5	0.3	-0.1	0.0
0.0	0.0	0.1	0.4	0.5	1.0	0.2	0.0	0.0
0.0	0.0	0.4	0.1	0.3	0.2	1.0	0.1	0.1
0.2	0.0	0.2	0.0	-0.1	0.0	0.1	1.0	0.0
Ж-3 (№130) N=34								
1.0	-0.5	0.2	-0.1	0.2	0.1	0.4	0.0	0.0
-0.5	1.0	-0.1	-0.2	0.1	0.0	-0.2	0.0	0.0
0.2	-0.1	1.0	0.6	0.6	0.1	0.7	0.3	0.3
-0.1	-0.2	0.6	1.0	0.5	0.3	0.5	0.0	0.0
0.2	0.1	0.6	0.5	1.0	0.5	0.7	0.4	0.4
0.1	0.0	0.1	0.3	0.5	1.0	0.3	0.2	0.2
0.4	-0.2	0.7	0.5	0.7	0.3	1.0	0.4	0.4
0.0	0.0	0.3	0.0	0.4	0.2	0.4	1.0	0.0
Ж-4 (№132) N=75								
1.0	-0.3	0.6	0.5	0.5	0.4	0.6	0.1	0.1
-0.3	1.0	-0.2	-0.2	-0.2	-0.1	-0.3	-0.1	-0.1
0.6	-0.2	1.0	0.6	0.4	0.3	0.9	0.1	0.1
0.5	-0.2	0.6	1.0	0.7	0.4	0.8	0.3	0.3
0.5	-0.2	0.4	0.7	1.0	0.5	0.7	0.5	0.5
0.4	-0.1	0.3	0.4	0.5	1.0	0.5	0.3	0.3
0.6	-0.3	0.9	0.8	0.7	0.5	1.0	0.3	0.3
0.1	-0.1	0.1	0.3	0.5	0.3	0.3	1.0	0.0
Ж-4 (№134) N=558								
1.0	-0.1	0.2	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2
-0.1	1.0	-0.1	-0.2	-0.3	-0.2	-0.3	-0.1	-0.1
0.2	-0.1	1.0	0.5	0.4	0.4	0.8	0.3	0.3
0.1	-0.2	0.5	1.0	0.6	0.6	0.5	0.3	0.3
0.1	-0.3	0.4	0.6	1.0	0.6	0.5	0.4	0.4
0.1	-0.2	0.4	0.6	0.6	1.0	0.4	0.3	0.3
0.2	-0.3	0.8	0.5	0.5	0.4	1.0	0.3	0.3
0.2	-0.1	0.3	0.3	0.4	0.3	0.3	1.0	0.0
А-4 (№19) N=356								
1.0	0.0	0.1	0.0	0.0	-0.1	0.0	0.3	0.3
0.0	1.0	0.1	-0.1	-0.1	-0.1	0.0	0.2	0.2
0.1	0.1	1.0	0.1	0.1	0.1	0.3	0.1	0.1
0.0	-0.1	0.1	1.0	0.1	0.4	0.0	-0.1	-0.1
0.0	-0.1	0.1	0.1	1.0	0.8	0.0	0.0	0.0
-0.1	-0.1	0.1	0.4	0.8	1.0	0.1	-0.1	-0.1
0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.1	1.0	-0.1	-0.1
0.3	0.2	0.1	-0.1	0.0	-0.1	-0.1	1.0	0.0



Результати кластерного аналізу

Параметр	Обсяг вибірки	Абс. позн., м	Крутизна, град.	Глибина захоплення порід, м	Площа, м <sup>2</sup>	Відстань до базису ерозії, м
Кластер 1	585	800.5	24.5	25	289063	370
Кластер 2	765	470	35	3.5	46875	225
Кластер 3	511	397.5	20.5	8	162500	784
Кластер 4	1520	355	17.5	6.5	150000	192
Кластер 5	58	335.5	19	11	3622500	345

Крутизна поверхні контролює співвідношення між силами тертя потенційно зсувних мас із підстильними породами (геологічними утвореннями) і складову сили тяжіння, що спрямована уздовж схилу. Отже, крутизна схилу визначає ступінь рівноваги сил, які втримують зсувні маси від їхнього ковзання, тобто визначає напружений стан схилу.

У роботі [Геренчук, 1981] зазначено, що “зсуви найчастіше поширені в гірських районах, на ділянках із різко пересіченим рельєфом, на високих і крутих схилах річкових долин, на берегових схилах водойм, на укосах виїмок і кар’єрів. Загалом, рельєф місцевості, орографічне положення району створюють запаси потенційної енергії, що спричиняє розвиток зсувних явищ”. Природні схили завжди прагнуть до крутизни, що відповідає куту природного укосу порід, з яких вони складаються, за якої вони перебувають у стійкому стані: не сповзають, не осипаються тощо. Отже, на крутих схилах зсуви утворитися не можуть – це схили обвалів й осипів.

Аналіз розподілу зсувів за величинами крутизни повздовжнього профілю (рис. 4) (за кадастровими даними) свідчить, що закон двомодальний, математичні сподівання кутів для I групи – 16.9°, для II групи – 31.6° (підтверджено кластерним аналізом). Середньоквадратичне відхилення характеризує міру розсіювання величини навколо середнього, відповідно для I групи становить 3.4, для II – 4.7.



Рис. 4. Двомодальний закон розподілу крутизни повздовжнього профілю (вся база даних)

Fig. 4. Distribution law longitudinal slope profile (entire database)

З графіка видно, що найменше зсувів відбувається за кутів нахилу до 8° та більше за 48°. Значний обсяг вибірки дає підстави зробити висновок, що двомодальна крива розподілу крутизни відповідає двом основним типам зсувів – течії та блокового ковзання.

Теоретична крива виділяє інтервали, за яких можливе утворення зсувів-течії від 8° до 24°; зсуви блокового ковзання, відповідають другому розрахованому теоретичному закону в діапазоні (24°–40°); за кутів 44° і більше можливі зсуви-обвали (рис. 5).

$$N := 3458 \quad i := 2, 6 \dots 72 \quad 0 \dots 24 \quad xs1 := 16.9 \quad \sigma1 := 4.3 \\ 25 \dots 72 \quad xs2 := 31.6 \quad \sigma2 := 7.3$$

$$F1_i := \left[ \frac{1}{\sqrt{2 \cdot \pi \cdot \sigma1}} \cdot e^{-\left(\frac{i - xs1}{2 \cdot \sigma1}\right)^2} \right] \cdot \frac{2029}{3458} \quad F2_i := \left[ \frac{1}{\sqrt{2 \cdot \pi \cdot \sigma2}} \cdot e^{-\left(\frac{i - xs2}{2 \cdot \sigma2}\right)^2} \right] \cdot \frac{1427}{3458}$$

$$F_i := F1_i + F2_i$$

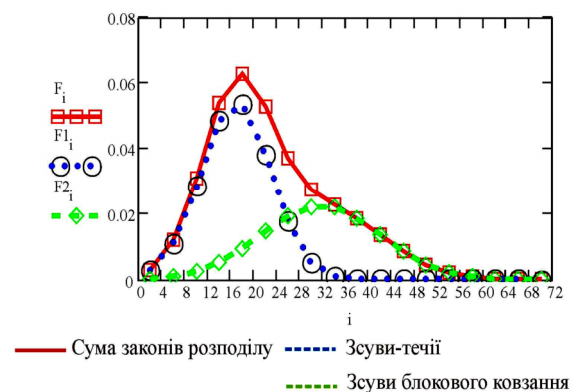


Рис. 5. Визначення густини ймовірності крутизни зсувів

(за сумою двох нормальних законів, враховуючи вагові коефіцієнти)

Fig. 5. Determination of the probability density slope displacements (the sum of two normal laws, including weights)

Вважаючи, що значення центрів двох найрепрезентативніших груп є математичним сподіванням, розраховано відповідні їм середньоквадратичні відхилення. Наближення до апіорного розподілу визначають з урахуванням вагових коефіцієнтів (відношення кількості зсувів у кожній групі до загальної кількості зсувів).

### Наукова новизна та практична значущість

Аналіз впливу геологічної будови на формування зсувів показав, що блокові зсуви з великими глибинами захоплення та значною крутизою схилів розвиваються в глинистому фліші, який є характерним для середньовисотних Полонинсько-Чорногірського та Рахівсько-Чивчинського гірських хребтів і пасм (Ж-4), зсуви течії поширені в алювіальних, алювіально-делювіальних відкладах, характеризуються малими глибинами захоплення, кутами нахилу і поширені на акумулятивно-денудаційних рівнинах Передкарпатської височини (Ж-1) та структурно-денудаційній рівнині Подільської височини (А-4). Останнім притаманний вплив бічної річкової ерозії на формування зсувів. Це підтверджено результатами кластерного аналізу, який виділив п'ять груп зсувів за спорідненими характеристиками. Розрахована двомодальна крива розподілу крутизни впевнено виділила два основні типи зсувів – течії та блокового ковзання.

Наведені в роботі дослідження ототожнення особливостей геологічної будови з певними характеристиками зсувів доводять доцільність їх практичного використання для розв'язання геоекологічних задач, а саме: для прогнозування небезпеки виникнення зсувів, щоб завчасно запобігти можливим зсувоутворенням, для розроблення протизсувних заходів, оцінювання території для забудови.

### Висновки

1. З літологічного погляду найбільша щільність зсувів зареєстрована в четвертинних алювіальних, алювіально-делювіальних відкладах, в конгломератах, пісковицях, мергельно-глинистих породах палеогенового віку, у породах двокомпонентного флішу (крейдового та палеогенового віку) та в сильно дислокованих палеозойських породах – гранітах, кристалічних вапняках, сланцях, пісковицях (див. табл. 3).

2. З погляду структурно-тектонічного і відповідно інженерно-геологічного районування найбільша щільність зсувів зосереджена на території Південно-Покутсько-Буковинської передгірської рівнини, Склеястих пасм, гірських хребтів Свидовець, Чорногора, Лосова, Північно-Покутсько-Прутської рівнини, Верхньотисенської котловини, Рахівсько-Чивчинського масиву, Полонинського хребта.

3. Зсуви-течії розвиваються переважно в алювіально-делювіальних відкладах рівнин, зсуви блокового ковзання та видавлювання – у породах двокомпонентного флішу (крейдового та палеогенового віку) та в сильно дислокованих палеозойських породах – гранітах, кристалічних вапняках, сланцях, пісковицях гірських масивів.

4. Переважна більшість зсувів розвивається на схилах східної, південної та західної експозицій.

5. Всі геометричні параметри зсувів, абсолютні відмітки та відстань до базису ерозії підпорядковані логнормальному закону розподілу

або його модифікаціям, що свідчить про ймовірну зміну умов формування зсувів під впливом комплексу зовнішніх факторів і дає змогу розглядати ці параметри як результат добутку діючих факторів.

6. Крутизна повздовжнього профілю здебільшого підпорядковується нормальному закону розподілу, який є двомодальним, що свідчить про різні типи зсувів, домінують течії та блокове ковзання.

7. Кластерний аналіз виділив п'ять груп (кластерів) зсувів, які визначаються різними умовами формування.

### Література

- Адаменко О. М. Екологічна геоморфологія: підручник / О. М. Адаменко, Г. І. Рудько, І. П. Ковальчук. – Івано-Франківськ: Факел, 2000. – 411 с.
- Багрій І. Д. Активізація небезпечних геологічних явищ у Закарпатті як наслідок екстремальних паводків / І. Д. Багрій, П. В. Блінов, П. Ф. Гожик та ін. – К.: ІГН НАН України, 2004. – 210 с.
- Геренчук К. І. Природа Закарпатської області / за ред. К. І. Геренчука. – Львів: Вища школа, 1981. – 156 с.
- Гошовський С. В., Рудько Г. І., Преснер Б. М. Екологічна безпека техноприродних геосистем у зв'язку з катастрофічним розвитком геологічних процесів – К.: ЗАТ “НІЧЛАВА”, 2002. – 624 с.
- Гулакян К. А. Инженерно-геологическое прогнозирование экзогенных геологических процессов / К. А. Гулакян, В. В. Зуев, В. А. Осипук. – М.: Гидрогеология и инженерная геология: Обзор инф., 1992. – Вып. 3. – 39 с.
- Демчишин М. Г. Современная динамика склонов на территории Украины / М. Г. Демчишин – К.: Наукова думка, 1992. – 251 с.
- Климчук Л. М. Сучасні інженерно-геологічні умови України як складова безпеки життєдіяльності / Л. М. Климчук, П. В. Блінов, В. Ф. Величко та ін. – К.: ВПЦ “Експрес”, 2008. – 265 с.
- Кузьменко Е. Д. Карпатські зсуви: деякі геоморфологічні характеристики та зв'язок їх з літологією / Е. Д. Кузьменко, П. В. Блінов, О. М. Карпенко та ін. // Геоінформатика. – 2004. – № 1. – С. 74–83.
- Кюнтцель В. В. Закономерности оползневых процессов на европейской территории СССР и его региональный прогноз / В. В. Кюнтцель. – М.: Недра, 1980. – 213 с.
- Ломтадзе В. Д. Инженерная геология. Инженерная геодинамика / В. Д. Ломтадзе. – Л.: Недра, 1977. – 479 с.
- Національна доповідь про стан техногенної та природної безпеки в Україні у 2013 році [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://www.mns.gov.ua/content/annual\\_report\\_2013.html](http://www.mns.gov.ua/content/annual_report_2013.html)

- Манукьян Д. А. Факторы формирования и развития оползневых процессов в специфических условиях территории КБР, их прогноз и мониторинг / Д. А. Манукьян, О. Б. Кизарисова // Сб. науч. трудов "Проблемы научного обеспечения развития эколого-экономического потенциала России" Всероссийской научно-технической конференции. – Москва, 2004. – С. 40–44.
- Рудько Г. И. Оползни и другие геодинамические процессы горноскладчатых областей Украины (Крым, Карпаты): монография / Г. И. Рудько, И. Ф. Ерыш – К.: Задруга, 2006. – 624 с.
- Рудько Г. И. Концепція регіонального прогнозування зсувів та селів Карпатського регіону України / Г. И. Рудько, Л. С. Шкіца, Р. З. Шута // Екологія та техногенна безпека. – 2002. – № 3 (4). – С. 197–200.
- Узагальнення матеріалів інженерно-геологічного довіщення території України з метою підготовки геологічного забезпечення протизсувних заходів та УІАС НС на державному рівні: звіт про науково-дослідну роботу / [Л. М. Климчук, Л. М. Красноок, Е. Д. Кузьменко та ін.] – ДНВП "Геоінформ України", 2009. – 284 с.
- Шушняк В. М. Сучасна екзоморфодинаміка Українських флішових Карпат: автореф. дис... канд. географ. наук: 11.00.04 / Шушняк Володимир Миколайович; ЛНУ ім. Івана Франка. – Л., 2007. – 20 с.
- Lee S. Statistical analysis of landslide susceptibility at Yongin, Korea / S. Lee, K. Min // Environmental Geology. – Vol. 40. – Number 9. – 2001. – P. 1095–1113.
- Sendir H. Structural, geomorphological and geomechanical aspects of the Koyulhisar landslides in the North Anatolian Fault Zone (Sivas, Turkey) / H. Sendir, I. Yilmaz // Environmental Geology. – Vol. 42. – 2002. – P. 52–60.
- Shang Y. Distribution of landslides adjacent to the northern side of the Yarlu Tsangpo Grand Canyon in Tibet, China / Y. Shang, H-D. Park, Z. Yang, J. Yang // Environmental Geology. – Vol. 48. – Number 6. – 2005. – P. 721–741.
- Yilmaz I., Yildirim M. Structural and geomorphological aspects of the Kat landslides (Tokat—Turkey) and susceptibility mapping by means of GIS / I. Yilmaz, M. Yildirim // Environmental Geology. – Vol. 50. – Number 4. – 2006. – P. 461–472.

Э. Д. КУЗЬМЕНКО<sup>1</sup>, Л. В. ШТОГРИН<sup>1\*</sup>, И. В. ЧЕПУРНЫЙ<sup>1</sup>

<sup>1\*</sup>Кафедра геотехногенной безопасности и геоинформатики, Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа, ул. Карпатская, 15, Ивано-Франковск, Украина, 76019, тел. +38(0342)504761, эл. почта: luda2810@rambler.ru

#### АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ОПОЛЗНЕЙ

**Цель.** Целью исследований является анализ влияния геологического строения с учетом инженерно-геологического районирования и морфологических особенностей рельефа на характеристики оползней с последующим их статистическим анализом для выявления влияния комплекса внешних факторов на условия формирования оползней. Проработаны данные кадастра оползней Закарпатской и Черновицкой областей, содержащего информацию о пространственной базе данных и характеристики 3458 оползней. **Методика.** Решение поставленной задачи состоит из таких этапов: 1) районирование территории для определения закономерностей распространения и развития оползней с помощью геоинформационных технологий (построение геологических карт с соответствующим районированием и подсчет количества оползней в каждой инженерно-геологической области и в каждом инженерно-геологическом районе, расчет площади территории, пораженной оползневыми процессами, расстояния до базиса эрозии, определение экспозиции склона); 2) анализ распространения оползней относительно инженерно-геологических единиц; 3) анализ распространения оползней относительно экспозиции склона; 4) проведена статистическая обработка таких характеристик оползней – длины, ширины, площади, высоты стенки срыва, мощности оползневых масс, а также морфологических признаков рельефа – абсолютных отметок оползней, крутизны склона и расстояния до базиса эрозии с применением корреляционного и кластерного анализов для определения влияния внешних факторов на формирование оползней; 5) анализ влияния крутизны продольного профиля на формирование различных типов оползней. **Результаты.** Выполнение исследования является необходимым этапом для пространственно-временного прогнозирования оползневых процессов. **Научная новизна.** С помощью кластерного анализа выделены группы оползней, которые отличаются различными условиями формирования. По геоморфологическому параметру – крутизне продольного профиля на основе проведенных исследований закона распределения определяли оползни течения и оползни блочного скольжения, характеризующиеся различным механизмом смещения. **Практическая значимость.** Результаты, полученные в ходе исследований, могут использоваться для прогнозирования опасности возникновения оползней и заблаговременного предупреждения возможных оползней, при разработке противооползневых мероприятий, при оценке территорий для застройки.

**Ключевые слова:** оползни; инженерно-геологическое районирование; статистический анализ.

E. D. KUZMENKO<sup>1</sup>, L. V. SHTOHRYN<sup>1\*</sup>, I. V. CHEPURNYI<sup>1</sup>

<sup>1\*</sup>Department Geotechnogenic safety and Geoinformatics, Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, 15 Karpatska street, Ivano-Frankivsk, Ukraine, 76019, tel. +38(0342)504761, e-mail luda2810@rambler.ru

# ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF GEOLOGICAL STRUCTURE OF THE ROCKS TO THE CHARACTERISTICS OF THE LANDSLIDES

**Purpose.** The purpose of these studies is to analyze the influence of geological structure, including engineering geological zoning, morphological features of relief to the characteristics of landslides and their subsequent statistical analysis to identify the impact of external factors to the complex conditions of formation of landslides. Worked out inventory of landslides Transcarpathian and Chernivtsi regions that contain information about the spatial database and features of 3458 landslides. **Methods.** Solving this problem consists of the following stages: 1) determine of zoning patterns and distribution of landslides using GIS technologies (building maps with appropriate zoning and counting the number of shifts, each geotechnical field, each geotechnical area calculation of the surface area affected by landslides, the distance to the base level, the slope exposition); 2) analysis of the distribution of landslides of relative geological units; 3) analysis of the distribution of landslides with respect to the exposure of the slope; 4) the statistical analysis of characteristics of landslides – length, width, area, height of wall disruption, power of sliding mass and morphological characteristics of relief – absolute marks of landslides, steep slope and distance to the base level of erosion with application of cross-correlation and cluster analyses for determination of influence of external factors to forming of landslides; 5) analyze the impact of steep longitudinal profile of the formation of different types of landslides. **Results.** The research is a necessary part for spatiotemporal prediction of landslides. **Scientific novelty.** By a cluster analysis the groups of landslides of changes are selected which are determined the different terms of forming. According to the geomorphological setting – steep of longitudinal profile determined by the flow landslides and mudslides of block bearings, which are characterized by different mechanisms of displacement. **The practical significance.** The results obtained during the research can be used to predict the risk of landslides and an early warning of possible landslides, in the development of anti-measures, in assessing areas for development.

**Key words:** landslides; engineering geological zoning; statistical analysis.

## REFERENCES

- Adamenko O. M., Rudko G. I., Kovalchuk I. P. *Ekologichna heomorfologiya: pidruchnyk* [Ecological geomorphology: a textbook]. Ivano-Frankivsk, Fakel, 2000, 411 p.
- Bahriy I. D., Blinov P. V., Hozhyk P. F., Kozhemiakin V. P. *Aktivizatsiya nebezpechnykh heolohichnykh yavlyshch u Zakarpatti yak naslidok ekstremal'nykh pavodkiv* [Activation of hazardous geological phenomena in our region as a result of extreme floods]. Kyiv, IHN NAN Ukrainy, 2004, 210 p.
- Herenchuk K. I. *Pryroda Zakarpat's'koyi oblasti za red. K. I. Herenchuka* [Nature Transcarpathian]. Lviv, Vyshcha shkola, 1981, 156 p.
- Hoshovskyy S. V., Rudko H. I., Presner B. M. *Ekologichna bezpeka tekhnopryrodnykh heosystem u zv'yazku z katastrofichnym rozvytkom heolohichnykh protsesiv* [Environmental safety technogene Geosystems due to catastrophic geological development processes]. Kyiv, ZAT "Nichlava", 2002, 624 p.
- Hulakyan K. A., Zuev V. V., Osyyuk V. A. *Ynzhenerno-heolohycheskoe prohozyrovanye ekzogennykh heolohycheskykh protsessov* [Engineering geological forecasting exogenous geological processes]. *Hydroheolohyya y ynzhenernaya heolohyya – Obzor ynf.*, Moskva, 1992, vol 3, 39 p.
- Demchyshyn M. H. *Sovremennaya dynamika sklonov na terrytoryi Ukrainy* [The current dynamics of slopes on the territory of Ukraine]. Kyiv, Naukova dumka, 1992, 251 p.
- Klimchuk L. M., Blinov P. V., Velichko V. F., Prymushko S. I., Fesenko O. V., Shestopalov V. M. *Suchasni inzhenerno-heolohichni umovy Ukrainy yak skladova bezpeky zhyttyediyal'nosti* [Modern engineering-geological conditions of Ukraine as a part of life safety of vital functions]. Kyiv, VPTs "Ekspres", 2008, 265 p.
- Kuzmenko E. D., Blinov P. V., Klimchuk L. M., Karpenko O. M., Petrik M. V. *Karpat's'ki zsuvi: deyaki heomorfologichni kharakterystyky ta zv'yazok yikh z litolohiyeyu* [Carpathian landslides: some geomorphologic characteristics and their relations with lithology]. *Geoinformatyka – Geoinformatics (Ukraine)*, Kyiv, 2004, no 1, pp. 74-83.
- Kyunttsel' V. V. *Zakonomernosti opolznevoho protsessa na evropeyskoy terrytoryi SSSR y eho rehyonal'nyy prohoz* [Laws of the landslide process in the European part of the USSR and its regional forecast]. Moskva, Nedra, 1980, 213 p.
- Lomtadze V. D. *Ynzhenernaya heolohyya. Ynzhenernaya heodynamika* [Engineering geology. Engineering Geodynamics]. Leningrad, Nedra, 1977, 479 p.
- Natsional'na dopovid' pro stan tekhnohennoyi ta pryrodnoyi bezpeky v Ukraini u 2013 rotsi* [National Report on the State of Technological and Natural Safety in Ukraine, 2013]. Available at: [http://www.mns.gov.ua/content/annual\\_report\\_2013.html](http://www.mns.gov.ua/content/annual_report_2013.html)

- Manukyan D. A., Kyzarysova O. B. *Faktory formirovaniya y razvytiya opolznevykh protsessov v spetsyfycheskykh usloviyakh terrytoryi KBR, ykh prohnoz y monytorynh* [Factors of formation and development of landslide processes in the specific conditions of the CBR area, their prognosis and monitoring]. *Trudy "Problems of scientific support for the development of ecological and economic potential of Russia"*, Moskva, 2004, pp.40-44.
- Rudko H. I., Erysh I. F. *Opolzny y druhye heodynamicheskiye protsessy hornoskladchastyykh oblastey Ukrayny (Krym, Karpaty)* [Landslides and others geodynamic Processes mountain regions of Ukraine (the Crimea, the Carpathians)], *Monohrafiya, Kyiv, Zadruha*, 2006. 624 p.
- Rudko H. I., Shkitsa L. Ye, Shuta R. Z. *Kontsepsiya rehional'noho prohnozuvaniya zsuviy ta seliv Karpat's'koho rehionu Ukrayiny* [The concept of regional forecasting landslides and mudflows Carpathian region of Ukraine]. *Ekolohiya ta tekhnohenna bezpeka*, 2002, no 3 (4), pp. 197–200.
- Klimchuk L. M., Krasnook L. M., Kuzmenko E. D. ta in. *Uzagalnennya materialiv inzhenerno-heolohichnoho dovyvchennya terytoriyi Ukrayiny z metoyu pidhotovky heolohichnoho zabezpechennya protyzsuvnykh zakhodiv na derzhavnomu rivni* [Generalization of materials engineering and geological to study territory of Ukraine to prepare geological events and providing landslides protective complexes and GIAS ES at the state level: report on research work] *zvit pro naukovo-doslidnu robotu. Kyiv, DNVP "Geoinform Ukrayini"*, 2009, 284 p.
- Shushnyak V. M. *Suchasna ekzomorfodynamika Ukrayins'kykh flishovykh Karpat: avtoref. dys... kand. heohraf. nauk: 11.00.04* [Recent Exomorphodynamics of Ukrainian Flysch Carpathians. The manuscript. Dissertation for obtaining a scientific degree of candidate of geographic sciences by specialization 11.00.04 – Geomorphology and Paleogeography]. *LNU Ivan Franko, Lviv*, 2007, 20 p.
- Saro Lee, Kyungduck Min. Statistical analysis of landslide susceptibility at Yongin, Korea. *Environmental Geology*, 2001, vol. 40, no. 9, pp. 1095–1113.
- Hüseyin Sendir, Işık Yılmaz. Structural, geomorphological and geomechanical aspects of the Koyulhisar landslides in the North Anatolian Fault Zone (Sivas, Turkey). *Environmental Geology*, 2002, vol. 42, pp. 52–60.
- Yanjun Shang, Hyeong-Dong Park, Zhifa Yang, Jie Yang. Distribution of landslides adjacent to the northern side of the Yarlu Tsangpo Grand Canyon in Tibet, China. *Environmental Geology*, 2005, vol. 48, no. 6, pp. 721–741.
- Işık Yılmaz, Mustafa Yildirim. Structural and geomorphological aspects of the Kat landslides (Tokat–Turkey) and susceptibility mapping by means of GIS. *Environmental Geology*, 2006, vol. 50, no. 4, pp. 461–472.
- Надійшла 14.12.2014 р.