УДК550.347.2
DOI: 10.31471/2415-3184-2023-1(27)-75-84

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

# ГЕОІНФОРМАЦІЙНИЙ АНАЛІЗ ПРИРОДНИХ ЧИННИКІВ ФОРМУВАННЯ ЗСУВІВ У РЕГІОНІ СКЛАДЧАСТИХ КАРПАТ (У МЕЖАХ ЗАКАРПАТСЬКОЇ ОБЛАСТІ)

Метою публікації є геоінформаційний аналіз природних чинників та оцінювання їхнього впливу на розвиток зсувних процесів у регіоні Складчастих Карпат (в межах Закарпатської області) з урахуванням інженерно-геологічного районування.

Для досягнення поставленої в роботі мети використовувалися наступні матеріали та методи дослідження: кадастр зсувів Закарпатської області (ДНВП «Геоінформ України») за період активізації 1980, 1998-2001 рр.; картографічна інформація по гідрографії, тектонічній будові, дані метеостанцій регіону.

Проведений геоінформаційний аналіз за допомогою інструментів QGISдозволив розрахувати ураженість зсувами по окремим інженерно-геологічним областям, районам, відстані від зсувів до базису ерозії, розломів, епіцентрів землетрусів, статистичний аналіз засобами програми Statistica кількісно оцінив вплив природних чинників на розвиток зсувів. Факторний аналіз встановив, що висока ураженість зсувами низькогірських масивів Вододільно-Верховинських Карпат (Ж-3) та середньовисотних Полонинсько-Чорногірських та Рахівсько-Чивчинських хребтів (Ж-4) пояснюється сукупним впливом геоморфології (абсолютні відмітки, крутизна схилу, підрізання схилів річковою ерозією), крім того, на область (Ж-4) суттєвий вплив має тектонічний та сейсмічний фактори (зсуви розвиваються в зонах впливу тектонічних розломів та поблизу осередків землетрусів), при цьому атмосферні опади відіграють роль провокуючого чинника. Розглянуті фактори пояснюють 68-77 % причин розвитку зсувних процесів, можна припустити, що решта відсотків належать геологічній будові (наявність двокомпонентного глинистого флішу) та впливу антропогенного фактору (вирубка лісів, підрізка схилів при прокладанні доріг, будівництві комунікацій, споруд і т. п.).

**Ключові слова:** геоінформаційний аналіз, зсуви, Складчасті Карпати, розломи, факторний аналіз.

**Постановка проблеми.** Згідно останнього Щорічника активізації ЕГП [1] останніми роками нові зсуви утворюються через техногенні обставини або через інтенсивні опади – востаннє це відбулося влітку 2020 року через аномальну кількість опадів, яка випала в травні – червні, коли норма опадів була перевищена у 1,6-3 рази (метеостанція Рахів: травень 83 мм/136 мм, червень 105 мм/314 мм), тоді активізувався 21 новий зсув загальною площею 0,56 км$^2$.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Оскільки проблема поширення зсувних процесів, зокрема у гірських районах, є актуальною в Україні, то природно, що питанням вивчення чинників їх розвитку присвячено чимало праць українських науковців: Адаменка О. М., Рудька Г. І. [2], Яковлєва Є. О. [3], Кузьменка Е. Д. [4, 8], Карпенка О. М. [4], Ковальчука І. П. [5], Іванік О. М. [6, 9], Касіянчука Д. В. [8, 10].

Що стосується чинників утворення зсувів у Карпатському регіоні, на території Закарпатської області, то у роботі [11] виконано оцінювання причин розвитку зсувних процесів у Тис-Апшицькому межиріччі, зокрема відзначено, що зсуви утворюються внаслідок поєднання особливостей геологічної будови, несприятливих метеорологічних умов, а тригерним фактором є діяльність людини. У працях [6,7] відзначено вагомість впливу річкової ерозії та тектонічного чинника на розвиток природних небезпек Українських Карпат, у тому числі і зсувів.

Гірські території Європи теж потерпають від зсувних процесів, так за даними моніторингу в 2013 році була створена Європейська карта схильності до зсувів (ELSUS1000) з кроком 1 км, яка поділена на сім кліматично-фізико-географічних зон з урахуванням розмежування території на гірські та негірські регіони [12]. У публікації [13] виконано дослідження чинників розвитку неглибоких зсувів у Швейцарії, враховуючи регіональні відмінності території, геологічні, геоморфологічні умови та клімат.

Дана робота присвячена аналізу природних чинників розвитку зсувів регіону Складчастих Карпат, враховуючи інженерно-геологічне районування на основі формаційного аналізу геолого-тектонічної будови України [14].

**Викладення основного матеріалу.** Карпатська гірськоскладчаста область сформувалась в альпійську епоху орогенезу та характеризується переважанням флішової формації, яка є середовищем розвитку геологічних процесів. У межах Складчастих Карпат виділено систему структурно-тектонічних зон першого порядку; поперечні та діагональні розломи, які є джерелом сейсмічних струшувань. В принасувних зонах, а також у вузлах перетину поздовжніх та поперечних розривних дислокацій формується та розвивається понад 70 % зсувів та обвалів [2, 14, 15]. У тектонічно ослаблених зонах, на контакті пісковиків з аргілітами, при втраті щільності та обводненні флішового масиву, утворюються прошарки глин, які є дзеркалом ковзання структурно-пластичних зсувів [16].

Тектонічна будова представлена зонами Мармароських і Пенінських скель, сформованими малоамплітудними розломами та густою системою зон дроблення. Серед диз′юнктивних порушень основну роль відіграють пологі насуви, які зумовлюють складну лускувату структуру, також ця зона зберігає риси антиклінальної складки. Кути падіння порід на крилах складок 35-70° [17]. Складчасті структури порушені розломами північно-західного та північно-східного напрямків. З точки зору геоморфології, більша частина території зайнята ерозійними схилами, розділеними вузькими долинами гірських річок та струмків. Вододільні простори вузькі, подекуди гребенеподібні, на окремих ділянках на вододілах збереглись субгоризонтальні площини – релікти древніх поверхонь вирівнювання. Ґрунтові води спорадичного поширення розвинуті в елювіально–делювіальних і делювіальних четвертинних відкладах, потужність останніх змінюється від 1 до 5-6 м, а в районах розвитку зсувів – до 10 м і більше. Водозбагаченість тісно пов′язана з кількістю атмосферних опадів, водовміщуючими породами є суглинисто – щебеневі, місцями щебенево-брилові породи. Глибина залягання ґрунтових вод 0,5-1,5 м [18].

Клімат континентальний з середньорічною температурою від 6 до 8 °С, загальна кількість опадів за рік змінюється від 840 до 1200 мм, і закономірно збільшується з північного заходу на північний схід.

Вихідними даними для роботи був кадастр зсувів по Закарпатській області ДНВП «Геоінформ». В даному кадастрі зареєстровані 1518 зсувів, активізація яких відбулася в 1980, 1998 -2001 рр. Зсуви представлені такими даними: № зсуву, просторові координати, рік активізації, механізм зміщення, геоморфологія схилу, місцеположення зсуву, параметри зсуву: абсолютна відмітка, крутизна поздовжнього профілю, розміри зсувів.

**Методика і методологія досліджень.** Згідно інженерно-геологічного районування територія досліджень в межах Закарпатської області охоплює Середньо- та низькогірські масиви Вододільно-Верховинських Карпат (Ж-3), Середньовисотні Полонинсько-Чорногорські та Рахівсько-Чивчинські гірські хребти і пасма (Ж-4), які відносяться до регіону Складчастих Карпат (рис. 1).

Засобами QGIS виконано розрахунок ураженості (відношення загальної площі зсувів до площі інженерно-геологічних районів) (табл. 1).

*Таблиця 1*

**Розрахунок кількості зсувів та ураженості в інженерно-геологічних районах Складчастих Карпат**

| Номер ІГР області/району | Район | Кількість зсувів / Площа, км$^2$ | Ураженість, % |
|---|---|---|---|
| Ж-3/129 | Вододільно-Верховинсько-Горганські хребти | 416/45,07 | 2,55 |
| Ж-3/130 | Ворохта-Путивльське древньотерасове низькогір'я з Ясинською котловиною | 25/6,07 | 1,93 |
| Ж-4/131 | Гірські хребти Свидовець, Чорна Гора, Лосова | 194/68,7 | 4,40 |
| Ж-4/132 | Рахівсько-Чивчинський масив | 75/16,45 | 3,39 |
| Ж-4/133 | Скелясті пасма | 98/16,02 | 5,14 |
| Ж-4/134 | Полонинський хребет | 558/91,58 | 3,31 |
| Ж-4/135 | Завигорлат-Гутинська міжгірська долина | 151/11,58 | 1,87 |

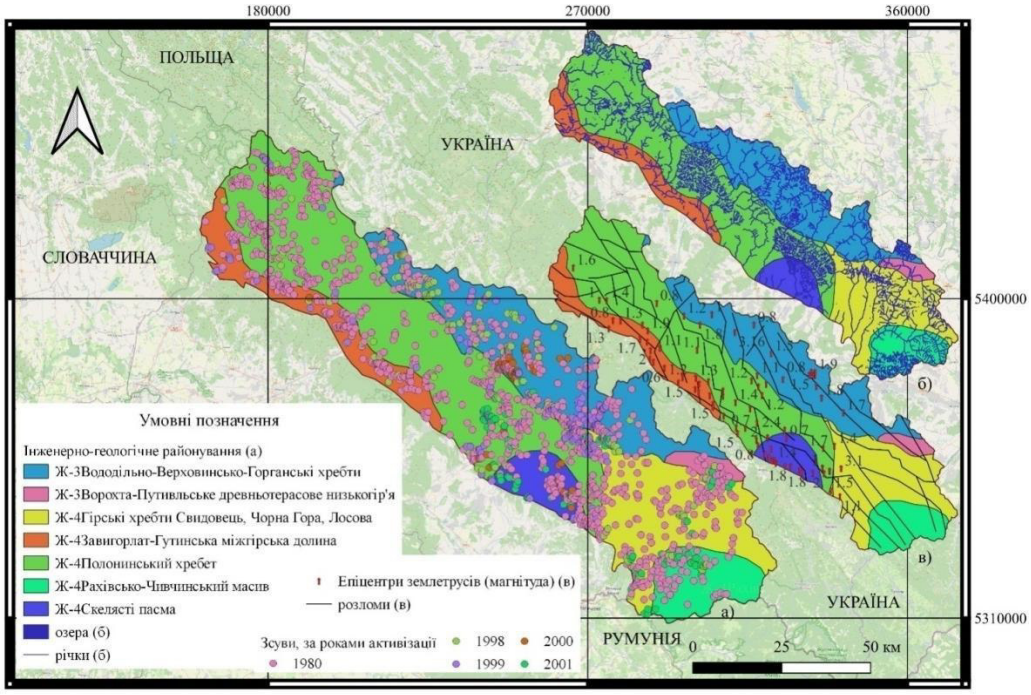


**Рис. 1. Інженерно-геологічне районування Складчастих Карпат у межах Закарпатської області з урахуванням ураженості зсувами, гідрографії та сейсмічних умов**

Висока ураженість зсувами інженерно-геологічних районів № 133, 131, 132, 134, 129 вказує на поєднання як геологічно-тектонічних умов (гірські хребти являють собою тектонічні скиби, складені флішовими породами крейдового та палеогенового віку: глинистими сланцями, пісковиками, аргілітами, алевролітами, різко дислоковані, розбиті розломами та насувами [17]), геоморфологічних, гідрографічних умов (гірський рельєф, круті схили, густа річкова мережа), так і кліматичних умов, зокрема через наявність тривалих у часі та інтенсивних опадів, коли зменшується зчеплення порід по нашаруванню і створюються умови для зсувів-ковзання та блокових зсувів.

Для вивчення природних чинників застосовувався геоінформаційний аналіз, який дозволяє поєднати просторові умови та статистичний підхід до аналізу даних. Побудована цифрова модель рельєфу використовувалась для доповнення існуючого кадастру зсувів інформацією про крутизну та експозицію схилу (рис. 1). Оцифровані шари річок, тектонічних порушень дозволили розрахувати відстані від зсувів до найближчого базису ерозії, розлому, до епіцентру землетрусу (рис. 2), побудовані карти атмосферних опадів та температури повітря (рис. 3) на основі даних дешифрування знімків.

Таким чином, у роботі були проаналізовані такі просторові чинники абсолютні відмітки, крутизна та експозиція схилу, відстань до базису ерозії, до розлому, до епіцентрів землетрусів, атмосферні опади та температура повітря регіону (табл. 2).

*Абсолютні відмітки зсувів.* Параметр «абсолютні відмітки зсувів» визначає вплив рельєфу на розвиток зсувних процесів через циркуляцію атмосферних фронтів. Регіон Складчастих Карпат належить до середньовисотних (абсолютні відмітки змінюються від 160 м до 1710 м, середнє значення 621 м), переважна більшість зсувів (1361 шт.) розвивається на відмітках 200-1000 м, при цьому для території області Ж-3 найбільш ураженими є висоти 400-800 м (948 шт.). На території Ж-4 утворення зсувів відбувається переважно на більш високих абсолютних відмітках – до 1000 м (984 шт.). Як видно з таблиці зі збільшенням висоти (понад 1000 м) кількість зсувів зменшується.

*Крутизна поздовжнього профілю.* Найбільш крутими схилами характеризуються гірські хребти Ж-4 з середніми кутами нахилу 26°, максимальне значення 70°, область Ж-3 відзначаються трохи пологішими схилами з середнім значенням 22°, максимальне значення 50°. Найбільше зсувів (1319 шт.) розвиваються на схилах з кутами нахилу від 10° до 40°, що вказує на тісний зв'язок між розвитком зсувних процесів і крутизною схилів – 87%.

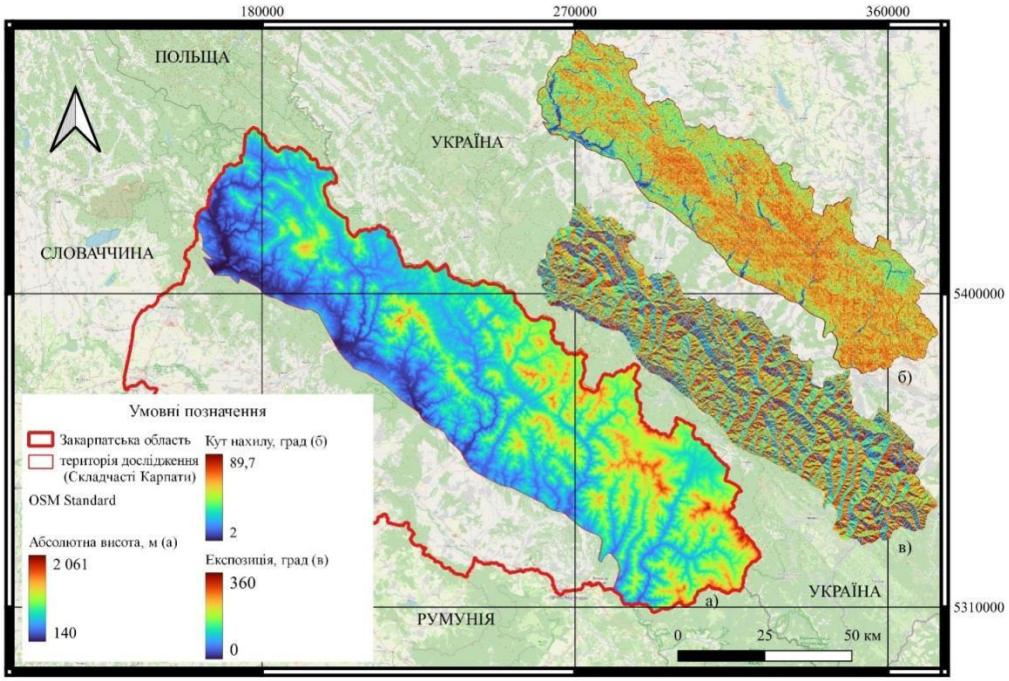


**Рис. 2. Карти геоморфологічних параметрів зсувів**

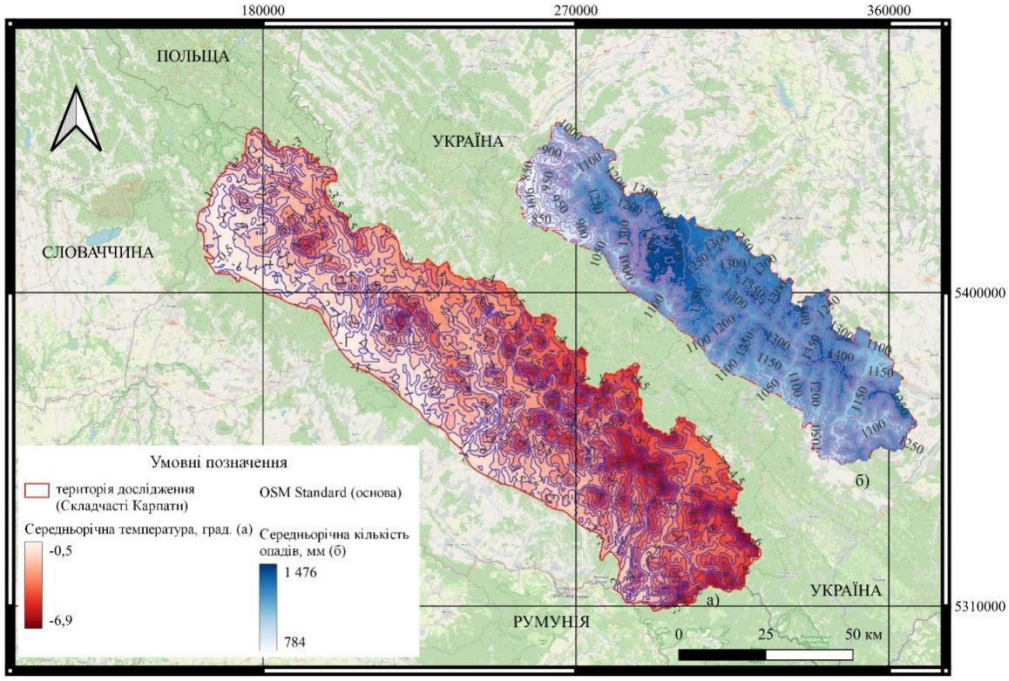


**Рис. 3. Карта розподілу атмосферних опадів, температури повітря регіону** (за даними дешифрування https://www.worldclim.org/)

*Експозиція схилу.* З картографічних шарів рельєфу та розташування зсувів визначалася експозиція схилу з кроком 45°: пн., пн.сх., сх., пд.сх., пд., пд.зх., зх., пн.зх. (табл. 2). Аналіз експозиції схилу розвитку зсувів свідчить, що більшість зсувів (985 шт.) розвиваються на схилах східної та південної сторони. Це закономірно, тому що вони більше освітлюються сонцем, зазнають більше тепла, сильніше відбуваються процеси вивітрювання, а потім під впливом атмосферних опадів швидше насичуються вологою. Проте, третя частина зсувів – 533 утворюються на схилах північно-західного напрямку, тому охарактеризувати експозицію однозначно неможливо.

*Базис ерозії.* Досліджуваний регіон характеризується густою мережею річок 1,4-2,0 км/км$^2$ [19], на яких часто формуються паводки та розвивається бічна ерозія. Сильні довготривалі дощі спричиняють підйом рівня води в річках та сприяють підрізанню схилу, тому близькість зсувів до

базису ерозії може розглядатися як один із факторів виникнення зсувів. Результати свідчать, що на розвиток третини зсувів впливає базис ерозії: 514 шт. знаходиться на відстані менше 200 м до річки, з них 306 шт. розташовані на території області Ж-4.

*Таблиця 2*

**Розподіл зсувів відносно просторових чинників з урахуванням інженерно-геологічного районування**

| Досліджуваний чинник | Діапазон | Кількість зсувів | | |
|---|---|---|---|---|
| | | Весь регіон | Ж-3 | Ж-4 |
| Абсолютні відмітки зсувів, м | 0-200 | 9 | | 9 |
| | 200-400 | 215 | | 215 |
| | 400-600 | 442 | 48 | 394 |
| | 600-800 | 506 | 251 | 255 |
| | 800-1000 | 189 | 78 | 111 |
| | 1000-1200 | 96 | 45 | 51 |
| | 1200-1400 | 49 | 13 | 36 |
| | 1400-1600 | 12 | 7 | 5 |
| Крутизна, град | 0-10 | 98 | 22 | 76 |
| | 10-20 | 375 | 125 | 250 |
| | 20-30 | 635 | 244 | 391 |
| | 30-40 | 309 | 114 | 195 |
| | 40-50 | 80 | 29 | 51 |
| | >50 | 21 | 10 | 11 |
| Експозиція схилу, град. | пн. | 140 | 17 | 123 |
| | пн.сх. | 129 | 32 | 97 |
| | сх. | 172 | 56 | 116 |
| | пд.сх. | 257 | 75 | 182 |
| | пд. | 311 | 106 | 205 |
| | пд.зх. | 238 | 81 | 157 |
| | зх. | 171 | 48 | 123 |
| | пн.зх. | 100 | 27 | 73 |
| Відстань до базису ерозії, м | 0-200 | 514 | 208 | 306 |
| | 200-400 | 580 | 146 | 434 |
| | 400-600 | 247 | 61 | 186 |
| | 600-800 | 112 | 18 | 94 |
| | 800-1000 | 46 | 7 | 39 |
| | >1000 | 19 | 2 | 17 |
| Відстань до найближчого розлому, м | 0-500 | 278 | 83 | 195 |
| | 500-1000 | 240 | 68 | 172 |
| | 1000-2000 | 457 | 141 | 316 |
| | 2000-4000 | 451 | 105 | 346 |
| | 4000-6000 | 71 | 30 | 41 |
| | 6000-8000 | 21 | 15 | 6 |
| Відстань до епіцентрів землетрусів, м | 0-2000 | 238 | 35 | 203 |
| | 2000-4000 | 378 | 130 | 248 |
| | 4000-6000 | 252 | 120 | 132 |
| | 6000-8000 | 164 | 70 | 94 |
| | 8000-10000 | 117 | 43 | 74 |
| | >10000 | 369 | 44 | 325 |

*Відстань до тектонічного розлому.* На розвиток зсувів впливає наявність розломних зон, які створюють навколо себе ослаблену зону. На межі зчленування Складчастих Карпат і Закарпатського прогину пролягає Закарпатський глибинний розлом, який разом з іншими розломами різних порядків та напрямків створює систему тріщин, напружено-деформований стан [20], тому цей чинник може розглядатися в контексті розвитку зсувів. Враховуючи, що для регіону Складчастих Карпат характерна блокова структура, то ширина зони впливу коливається від декількох сотень метрів до декількох тисяч метрів [15]. Розраховані відстані до найближчого розлому вказують, що майже всі зсуви (1426 шт.) розташовані в радіусі до 4000 м., з них у Ж-4 – 1029 шт., у Ж-3 – 397 шт.

*Сейсмічність регіону.* Глибина землетрусів в районі Міжгір'я становить 6-17 км, на території Рахівщини реєструються землетруси на глибині 17–27 км, з середньою магнітудою 1,7, а максимальна магнітуда рівна 3. Загалом, розподіл гіпоцентрів землетрусів у Карпатському регіоні має мозаїчний характер [21]. Аналіз відстаней до епіцентру землетрусу (табл. 2) свідчить, що 41 % (616 шт.) розвиваються у радіусі до 4000 м., при чому, більшість (451 зсув) зареєстрований в області Ж-4. Це пояснюється тим, що південно-західна частина регіону приурочена до Закарпатського глибинного розлому навколо якого розвиваються землетруси.

*Метеорологічні параметри характеризують клімат регіону і свідчать про динамічну зміну навколишнього середовища.* Атмосферні опади впливають на водонасичення верхнього шару геологічного середовища, створюючи сприятливі умови для сповзання зсувних мас, вони відіграють роль «пускового гачка» для підготовлених іншими факторами гірських порід. Аналізувались дані середньорічної сумарної кількості опадів за даними метеостанцій, розташованих поблизу або на досліджуваній території. Відмічається більша кількість опадів для теплого періоду року (рис. 4) (в період з червня по липень реєструється 171-174 мм опадів (високогірна метеостанція Плай з абсолютною відміткою 1343 м), найменша кількість опадів реєструється метеостанціями Рахів (531 м) та Нижній Студений (670 м) і становить близько 123-134 мм). Саме в такі надмірно зволожені періоди переважно активізуються зсуви.

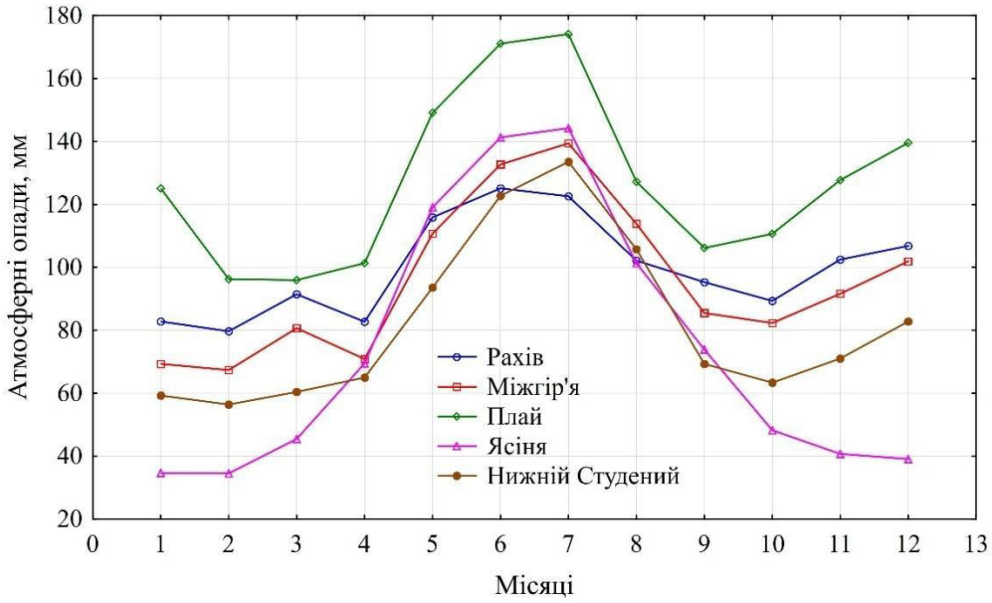


**Рис.4. Розподіл атмосферних опадів протягом року по метеостанціям (середньобагаторічні значення)**

Довготривалі та інтенсивні опади забезпечують інфільтрацію води, збільшують вологонасичення, поровий тиск, зменшують стійкість схилу, що призводить до сповзання зсувних мас. Дані активізації зсувів з кадастру добре узгоджуються сильними дощами, особливо, в теплий період з травня по серпень: 1980 р. (травень-листопад), 1998 р. (березень-листопад), 1999 р. (лютий-травень), 2000 р. (березень-липень), 2001 р. (лютий-березень і червень-вересень). Найбільша кількість опадів (349 мм) зареєстрована в березні 2001 р, коли перевищила середнє значення в 3,8 рази, тоді активізувалось 109 зсувів загальною площею 1,65 км$^2$.

*Факторний аналіз просторових чинників.* Для того, щоб зрозуміти причини та механізми розвитку зсувних процесів проводився факторний аналіз методом головних компонент з обертанням системи координат методом Варімакс. Під час роботи факторний аналіз об'єднує параметри з сильною кореляцією, коли факторне навантаження більше 0,7 (у табл.3 виділено курсивом), це вказує на те, що параметр тісно пов'язаний з досліджуваним чинником (у нашому випадку – розвитком зсувних процесів). Додатний знак факторного навантаження свідчить про прямий зв'язок параметра з чинником, від'ємний – про обернений. Неодмінною умовою проведення факторного аналізу є підпорядкованість досліджуваних параметрів нормальному закону розподілу. Перевірка показала, що "абсолютна відмітка зсуву"підпорядковується нормальному закону, а решта факторів – логнормальному, екстремальному та Вейбула. Щоб наблизити розподіл до нормального виконувалось логарифмування.

*Таблиця 3*

**Матриця факторних навантажень**

| Параметр | Середньо- та низькогірські масиви Вододільно-Верховинських Карпат (Ж-3) | | | Середньовисотні Полонинсько-Чорногорські та Рахівсько-Чивчинські гірські хребти і пасма (Ж-4) | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | фактор 1 | фактор 2 | фактор 3 | фактор 1 | фактор 2 | фактор 3 | фактор 4 |
| Абсолютна відмітка зсуву | 0,787 | -0,088 | -0,334 | 0,887 | 0,009 | -0,055 | 0,002 |
| Крутизна схилу | 0,807 | -0,083 | -0,106 | 0,773 | -0,019 | 0,337 | -0,141 |
| Відстань до базису ерозії | 0,525 | 0,422 | 0,443 | 0,029 | -0,006 | 0,899 | 0,079 |
| Відстань до розлому | 0,021 | -0,624 | 0,257 | -0,009 | 0,038 | 0,065 | 0,967 |
| Відстань до епіцентру землетрусу | -0,128 | -0,706 | -0,115 | 0,616 | -0,263 | -0,339 | 0,216 |
| Сумарна річна кількість опадів | -0,268 | -0,301 | 0,753 | -0,108 | 0,871 | 0,154 | -0,043 |
| Середньорічна температура повітря | 0,135 | 0,037 | -0,799 | 0,006 | -0,853 | 0,129 | -0,078 |
| Частка загальної дисперсії | 0,24 | 0,19 | 0,23 | 0,25 | 0,22 | 0,15 | 0,15 |

Проаналізуємо результати факторного аналізу по окремим інженерно-геологічним областям.

Для низькогірських масивів Вододільно-Верховинських Карпат (Ж-3) виділено три фактори: перший – пояснює прямий вплив рельєфу на розвиток зсувів: найбільше навантаження мають абсолютна відмітка зсуву (0,79) та крутизна профілю (0,81), крім того, показує прямий вплив річкової ерозії (0,53). Другий фактор свідчить, що зсуви розвиваються далеко від епіцентрів землетрусів (-0,71) та від тектонічних розломів (-0,62). Третій фактор пояснює вплив метеорологічних параметрів: прямий вплив на утворення зсувів мають атмосферні опади (0,75) та обернений вплив – температура повітря (-0,80). Зазначені фактори пояснюють 68 % дисперсії.

Для середньовисотних Полонинсько-Чорногірських та Рахівсько-Чивчинських хребтів (Ж-4) виділено чотири фактори. Перший фактор показує прямий вплив геоморфології рельєфу на розвиток зсувів: найбільше факторне навантаження мають абсолютна відмітка зсуву (0,89) та крутизна профілю (0,77), а також вплив сейсмічності (0,62). Другий фактор об’єднує вплив кліматичних умов: пряма кореляція з опадами (0,87) та обернена – з температурою повітря (-0,85). На відміну від області Ж-3, третій фактор підсилює вплив базису ерозії (0,9), а четвертий фактор свідчить, що утворення зсувів відбувається внаслідок напружено-деформованого стану геологічного середовища, створеного зоною тектонічних розломів (0,97). Сумарна дисперсія факторів 77 %.

**Висновки.** Сучасні ГІС є невід’ємною частиною просторового та часового аналізу даних екзогенних геологічних процесів. Проведений геоінформаційний аналіз дозволив розрахувати ураженість зсувами по окремим інженерно-геологічним областям, районам, відстані від зсувів до базису ерозії, розлому, епіцентрів землетрусів, а статистичний аналіз кількісно оцінив вплив природних факторів на розвиток зсувів. Факторний аналіз встановив, що висока ураженість зсувними процесами регіону Складчастих Карпат пояснюється сукупним впливом геоморфології (абсолютні відмітки, крутизна схилу, підрізання схилів річковою ерозією), на інженерно-геологічну область Ж-4 суттєвий вплив має тектонічний фактор (зсуви розвиваються в зонах впливу тектонічних розломів та поблизу осередків землетрусів), при цьому атмосферні опади відіграють роль провокуючого фактору. Перераховані фактори пояснюють 68-77 % причин розвитку зсувних процесів, можна припустити, що решта відсотків належать геологічній будові (наявність двокомпонентного глинистого флішу) та впливу антропогенного фактору (вирубка лісів, підрізка схилів при прокладанні доріг, будівництві комунікацій, споруд і т. п.).

Розуміння причин та механізмів розвитку зсувних процесів дозволяють використовувати цю інформацію для визначення уразливості територій, а також для прийняття інженерних рішень при розробленні протизсувних заходів заради безпеки населення та регіону. Особлива потреба для

сталого розвитку територій, які є маркерами в екологічному стані гірських територій, це – вивчення динаміки, оцінку та управління змінами від розвитку небезпечних екзогенних геологічних процесів як зсуви.

**Література**

1 Інформаційний щорічник щодо активізації небезпечних екзогенних геологічних процесів за даними моніторингу ЕГП (2020). Державне науково-виробниче підприємство «Державний інформаційний геологічний фонд України»

2 Адаменко, О.М., & Рудько, Г.І. (1998). Екологічна геологія. Підручник для студентів вищих навчальних закладів, екологічних, геологічних, географічних спеціальностей. Манускрипт.

3 Яковлєв, Є. О., Красноок, Л. М., & Лескова, Г. В. (2000). Прогнозна оцінка можливої активізації зсувного процесу на території Закарпатської області в 2000 році. Звіт з науково-дослідної роботи. Геоінформ.

4 Кузьменко, Е. Д., Блінов, П.В. & Петрик, М.В. (2004). Карпатські зсуви: деякі геоморфологічні характеристики та зв'язок їх з літологією. Геоінформатика.

5 Ковальчук, І. П. (2003). Гідролого-геоморфологічні процеси в карпатському регіоні України. Праці Наукового товариства ім. Шевченка.

6 Ivanik, O., Shevchuk, V., & Gadiatska, K. (2019). Geological and Geomorphological Factors of Natural Hazards in Ukrainian Carpathians. Journal of Ecological Engineering, 20(4). https://doi.org/10.12911/22998993/102964

7 Snitynskyi, V., Khirivskyi, P., & Hnativ, R. (2020). Landslides and erosion phenomena in the foothills of the Carpathian region rivers. Scientific Journal "Theory and building practice" (JTBP). Lviv: LPNU. https://doi.org/10.23939/jtbp2020.01.009

8 Shtohryn, L., Kasiyanchuk, D., & Kuzmenko, E. (2020). The problem of long-term prediction of landslide processes within the Transcarpatian inner depression of the Carpatian region of Ukraine. Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences. Retrieved from https://doi:10.26471/cjees/2020/015/118

9 Іванік, О. М. (2008). Просторовий аналіз та прогнозна оцінка формування водно-гравітаційних процесів на основі ГІС у карпатському регіоні. Геоінформатика.

10 Касіянчук, Д. В. (2014). Обґрунтування вибору факторів активізації небезпечних геологічних процесів (на прикладі території Карпатського регіону). Ecological Safety and Balanced Use of Resources.

11 Shekhunova, S.B., Aleksieienkova, M.V., & Siumar, S.P. (2020). Natural and man-induced landslides formation factors within the Tysa-Apshytsia interfluve (Transcarpathia, Ukraine). Second EAGE Workshop on Assessment of Landslide Hazards and impact on communities, Retrieved from https://doi:10.3997/2214-4609.202055018

12 The_European_landslide_susceptibility_map_ELSUS_1000_Version_1. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/258779847

13 Zweifel, L., Samarin, M. & Alewell, C. (2021). Investigating causal factors of shallow landslides in grassland regions of Switzerland, Nat. Hazards Earth Syst. Sci. Retrieved from https://doi.org/10.5194/nhess-21-3421-2021

14 Климчук, Л.М., Блінов, П.В. & Величко, В.Ф. (2008). Сучасні інженерно-геологічні умови України як складова безпеки життєдіяльності. ВПЦ "Експрес".

15 Штогрин, Л.В., Анікеєв, С. Г., & Багрій, С.М. (2021). Відображення активності зсувних процесів в регіональних гравітаційних та магнітних полях (на прикладі Закарпатської області). Геодинаміка.

16 Geodynamics. Retrieved from https://doi:10.23939/jgd2021.01.065

17 Кузьменко, Е.Д., & Штогрин, Л.В. (2002). Комплексна обробка геофізичних даних та прогноз зсувних процесів на ділянках досліджень Міжгірського району Закарпатської області. Звіт з науково-дослідної роботи, ІФНТУНГ.

18 Державна геологічна карта України масштабу 1:200000, аркуші M-34-XXIX (Сніна), M-34-XXXV (Ужгород), L-34-V (Сату-Маре). (2003). Міністерство екології та природних ресурсів України, державне геологічне підприємство «Західукргеологія».

19 Рубан, С.А., & Ніколішина, А.В. (2005). Ґрунтові води України. ДВ УкрДГРІ.

20 Геренчук, К.І. (1981). Природа Закарпатської області: монографія. Вища школа.

21 Мончак, Л. С., & Анікєєв, С. Г. (2017). Відображення тектонічної будови західного регіону України у гравімагнітних полях. Геодинаміка.

22 Максимчук, В. Ю., Пиріжок, Н. Б. & Тимощук, В. Р. (2014). Деякі особливості сейсмічності Закарпаття. Геодинаміка.

***L. Shtohryn, D. Kasiyanchuk,***
***V. Baranichenko, M. Shtohryn***
*Ivano-Frankivsk National*
*Technical University of Oil and Gas*

## GEO-INFORMATION ANALYSIS OF NATURAL FACTORS OF LANDSLIDE FORMATION IN THE REGION OF THE FOLDED CARPATHIANS (IN THE TRANSCARPATHIAN REGION)

The article aims at performing the geoinformation analysis of natural factors and an assessment of their impact on the development of landslide processes in the region of the Folded Carpathians (in the Transcarpathian region) by engineering and geological zoning.

The following research materials and methods were used in the study: cadastre of landslides of the Transcarpathian region (SRDE "Geoinform of Ukraine") for the period of activation in 1980, 1998-2001; cartographic information on hydrography, tectonic structure, data from weather stations in the region.

The performed geoinformation analysis using QGIS tools made it possible to calculate the impact of landslides on separate engineering and geological areas, districts, the distance from landslides to the base of erosion, faults, earthquake epicenters, the performed statistical analysis using the Statistica program quantitatively assessed the influence of natural factors on the development of landslides. The factor analysis established that the high susceptibility to landslides of the low-mountain massifs of the Vododil-Verkhovyna Carpathians (Ж-3) and the medium-altitude Polonyna-Chornohora and Rakhiv-Chyvchyn ranges (Ж-4) could be explained by the combined influence of geomorphology (absolute elevations, slope steepness, undercutting of slopes by river erosion). In addition, the region (Ж-4) is significantly influenced by tectonic and seismic factors (landslides develop in the zones affected by tectonic faults and near the centers of earthquakes), while atmospheric precipitation plays the role of a trigger factor. The considered factors explain 68-77% of the reasons for the development of landslide processes. It can be assumed that the remaining proportion is related to the geological structure (the presence of two-component clay flysch) and the influence of manmade factors (deforestation, trimming of slopes during the construction of roads, construction of communications, structures, etc.).

**Key words:** geoinformation analysis, landslides, Folded Carpathians, faults, factor analysis.

References

1 Informatsiinyi shchorichnyk shchodo aktyvizatsii nebezpechnykh ekzohennykh heolohichnykh protsesiv za danymy monitorynhu EHP (2020). Derzhavne naukovo-vyrobnyche pidpryiemstvo «Derzhavnyi informatsiinyi heolohichnyi fond Ukrainy»

2 Adamenko O. M., & Rudko H. I. (1998). Ekolohichna heolohiia. Pidruchnyk dlia studentiv vyshchykh navchalnykh zakladiv, ekolohichnykh, heolohichnykh, heohrafichnykh spetsialnostei. Manuskrypt.

3 Iakovliev, Ye. O., Krasnook L. M., & Leskova H. V. (2000). Prohnozna otsinka mozhlyvoi aktyvizatsii zsuvnoho protsesu na terytorii Zakarpatskoi oblasti v 2000 rotsi. Zvit z naukovo-doslidnoi roboty. Heoinform.

4 Kuzmenko, E. D., Blinov, P.V. & Petryk, M.V. (2004). Karpatski zsuvy: deiaki heomorfolohichni kharakterystyky ta zviazok yikh z litolohiieiu. Geoinformatika.

5 Kovalchuk I. P.(2003). Hidroloho-heomorfolohichni protsesy v karpatskomu regioni Ukrainy. Pratsi Naukovoho tovarystva im. Shevchenka

6 Ivanik, O., Shevchuk, V., & Gadiatska, K. (2019). Geological and Geomorphological Factors of Natural Hazards in Ukrainian Carpathians. Journal of Ecological Engineering, 20(4). Retrieved from https://doi.org/10.12911/22998993/102964

7 Snitynskyi, V., Khirivskyi, P., & Hnativ, R. (2020). Landslides and erosion phenomena in the foothills of the Carpathian region rivers. Scientific Journal "Theory and building practice" (JTBP). Lviv: LPNU. Retrieved from https://doi.org/10.23939/jtbp2020.01.009.

8 Shtohryn, L., Kasiyanchuk, D., & Kuzmenko, E. (2020). The problem of long-term prediction of landslide processes within the Transcarpatian inner depression of the Carpatian region of Ukraine.

Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences. Retrieved from https://doi:10.26471/cjees/2020/015/118

9 Ivanik, O. M. (2008). Prostorovyi analiz ta prohnozna otsinka formuvannia vodno-hravitatsiinykh protsesiv na osnovi HIS u karpatskomu rehioni. Heoinformatyka.

10 Kasiyanchuk, D. V. (2014). Obgruntuvannia vyboru faktoriv aktyvizatsii nebezpechnykh heolohichnykh protsesiv (na prykladi terytorii Karpatskoho rehionu). Ecological Safety and Balanced Use of Resources.

11 Shekhunova S. B., Aleksieienkova M. V., & Siumar S. P (2020). Natural and man-induced landslides formation factors within the Tysa-Apshytsia interfluve (Transcarpathia, Ukraine). Second EAGE Workshop on Assessment of Landslide Hazards and impact on communities. Retrieved from https://doi:10.3997/2214-4609.202055018

12 The_European_landslide_susceptibility_map_ELSUS_1000_Version_1. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/258779847

13 Zweifel, L., Samarin, M. & Alewell, C. (2021). Investigating causal factors of shallow landslides in grassland regions of Switzerland, Nat. Hazards Earth Syst. Sci. Retrieved from https://doi.org/10.5194/nhess-21-3421-2021

14 Klymchuk, L. M. Blinov, P. V. & Velychko, V. F. (2008). Suchasni inzhenerno-heolohichni umovy Ukrainy yak skladova bezpeky zhyttiediialnosti. VPTs “Ekspres”.

15 Shtohryn, L. V., Anikeyev, S. H., & Bagriy, S. M. (2021). Reflection of the activity of landslide processes in the regional gravitational and magnetic fields (on the example of the Transcarpathian region)

16 Geodynamics. Retrieved from https://doi:10.23939/jgd2021.01.065

17 Kuzmenko, E. D., Shtohryn, L. V. (2002). Kompleksna obrobka heofizychnykh danykh ta prohnoz zsuvnykh protsesiv na diliankakh doslidzhen Mizhhirskoho raionu Zakarpatskoi oblasti. Zvit z naukovo-doslidnoi roboty. IFNTUNH.

18 Derzhavna heolohichna karta Ukrainy masshtabu 1:200000, arkushi M-34-XXIX (Snina), M-34-XXXV (Uzhhorod), L-34-V (Satu-Mare). (2003). Ministerstvo ekolohii ta pryrodnykh resursiv Ukrainy, derzhavne heolohichne pidpryiemstvo «Zakhidukrheolohiia».

19 Ruban, S. A., & Nikolishyna, A. V. (2005). Gruntovi vody Ukrainy. DV UkrDHRI.

20 Herenchuk, K. I. (1981). Pryroda Zakarpatskoi oblasti: monohrafiia. Vyshcha shkola.

21 Monchak, L. S., & Anikieiev, S. H. (2017). Vidobrazhennia tektonichnoi budovy zakhidnoho rehionu Ukrainy u hravimahnitnykh poliakh. Geodynamics.

22 Maksymchuk, V. Yu., Pyrizhok, N. B. & Tymoshchuk, V. R. (2014). Deiaki osoblyvosti seismichnosti Zakarpattia. Geodynamics. Retrieved from https://doi:10.23939/jgd2014.02.139

*Надійшла до редакції 24 квітня 2023 р.*