

Побудова карт ризиків лавинної небезпеки за допомогою ArcGIS на основі геоморфологічного аналізу для гірських районів Чернівецької області

Микола НАСТЮК^{1*}  <https://orcid.org/0009-0007-3564-8383>

УДК 551.578.48; 528.952

Василь КОСОВАН¹

Олександр КАТРИНІН²

АНАЛІТИЧНА СТАТТЯ

¹Чернівецький обласний центр з гідрометеорології

²Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича, кафедра географії України та регіоналістики

Листування – *m.nastiuk@meteo.gov.ua

Ключові слова: лавинна небезпека, рельєф, підстильна поверхня, просторовий аналіз, ГІС технології.

Анотація: Виконано аналіз геоморфологічних чинників лавиноутворення в горах Чернівецької області. За допомогою ArcGIS проведено геоморфологічний аналіз та виділено класи лавинної небезпеки. Побудовано картосхему лавинної небезпеки для гірських територій Чернівецької області. Виділено території з підвищеним лавинним ризиком, завдяки ГІС технологіям обраховані площі територій з певними класами лавинної небезпеки. Здійснено опис територій з найвищими класами лавинної небезпеки.

1. ВСТУП

Сніговою лавиною називають раптове зрушення великих мас снігу крутими гірськими схилами. Виникають при порушенні стійкості снігу внаслідок різких змін погоди (сильні снігопади, відлиги, хуртовини тощо) у комплексі з особливостями рельєфу та підстильної поверхні (стрімкість схилів, ступінь розчленування території, характер рослинного покриву тощо). Найчастіше снігові лавини виникають на схилах з кутом похилу понад 15° та шаром снігу ≥ 30 см. Лавинонебезпечними можуть бути також схили техногенного походження – борта кар'єрів, відкоси над дорожніми виїмками тощо (Грищенко та ін. 2013). На частоту лавинопрояву впливають інші чинники, такі як зміни клімату. Антропогенний вплив на досліджуваній території постійно зростає (розвиток лісового, сільського господарства, рекреації та туристичної діяльності, транспортної інфраструктури, розбудова населених пунктів) охоплюючи нові території, що тягне за собою зростання ризиків від природних небезпек. Як результат, інтенсивне освоєння гірських районів, лісокористування, хаотичне розширення території пасовищ призводить до зростання лавинної небезпеки. Снігові лавини є небезпечним стихійним явищем для людей, будівель та інфраструктурних об'єктів.

2023, 845; DOI: <https://doi.org/10.31861/geo.2023.845.101-109>

 Open Access. © 2023 М. НАСТЮК, В. КОСОВАН, О. КАТРИНІН
опубліковано у Чернівецькому національному університеті

Ця робота ліцензується відповідно до

CC BY-NC-ND із Зазначенням Авторства – Некомерційна – Без Похідних 4.0 Міжнародна



Серед стихійних природних гідрологічних небезпек на території Українських Карпат особливе місце посідають паводки, селеві потоки та снігові лавини. Дослідження паводків та селів на території даного регіону виконані більш детально і представлені в багатьох наукових працях. Вивчення ризиків виникнення снігових лавин потребує більш деталізованого вивчення, особливо з урахуванням розвитку сучасних ГІС технологій.

Фактори, які спричиняють виникнення снігових лавин можна поділити на постійно діючі та змінні. До групи постійно діючих факторів можна віднести характеристику підстильної поверхні (геоморфологічні): відносна висота, крутизна схилів, експозиція схилів, конфігурація поверхні, шорсткість поверхні. До групи змінних факторів відносяться метеорологічні умови (сніговий покрив, інтенсивність снігопаду, добовий приріст снігу, рідкі опади, вітер, температурні умови) та стан снігового покриву (висота, стратиграфія) (Божинський, Лосев 1987).

Дослідження снігових лавин в Україні отримало своє відображення у наукових працях: Грицьків та ін. (2016), Грищенко та ін. (2013, 2014). Впродовж останніх років, в європейських країнах та у Північній Америці, значна увага приділяється оцінюванню впливу топографічних чинників на формування снігових лавин (Furdada, Vilaplana 1998; Maggioni, Gruber 2003; Delparte 2008; Marana 2017; Biskupic, Barka 2010; Covăşnianu et al. 2011; Voiculescu et al. 2016; Kosova et al. 2022).

На даний час можна знайти багато підходів до аналізу ризику снігових лавин за допомогою інструментів ГІС. Оскільки важливу роль у формування снігової лавини відіграє гравітація, тому виникає необхідність у детальному вивченні умов підстильної поверхні з використанням інструментарію ArcGis.

Територія дослідження знаходиться в межах Вижницького (Путильська, Селятинська, Конятинська, Усть-Путильська, Вижницька, Берегометська територіальні громади) та Чернівецького (Красноільська, Чудейська та Сторожинецька територіальні громади) районів Чернівецької області. Територія охоплює площу близько 1600 км².

Рельєф гірської частини Чернівецької області належить до середньогірного та низькогірного типів. Гірські хребти витягнуті із північного-заходу на південний схід. Особливо паралельність і витягнутість спостерігається у Скибовій зоні. Хребти Травен-Томнатик, Чіохелька-Чимірка, Ракова-Шурдин – вузькі, без відрогів, мають асиметричні схили, відділяються один від одного вузькими глибокими долинами річок водозборів Черемошу та Сірету, Сучави. Долини головних річок, розтинають гірські хребти впоперек.

Глибина ерозійного розчленування території більше 500 м. У зв'язку із значною глибиною врізання долини річки Черемош, глибина ерозійного розчленування території більша в західній, і менша в Присіретській території.

Північна частина Карпатських гір у Чернівецькій області належить до Покутського тектонічно-ерозійного низькогір'я. Для низькогірних Карпат висота гірських хребтів становить 800–1 000 м. Гірські хребти тут розчленовані густою мережею поперечних долин мають вигляд округлих, конусоподібних, стійкоподібних гір (Геренчук 1978).

В районі с. Ростоки низькогір'я змінюється скибовим середньогір'ям. Асиметричні хребти мають круті та обривисті північно-східні схили південно-західні – більш пологі і довші. Вершини гір тут досягають висоти понад 1 300 м.

Південніше с. Дихтинець починається низькогір'я Путильських Карпат. Рельєф визначається невеликими контрастами висот, округленими плоскими вершинами на висоті 850–950 м, а найвищі точки сягають 1 110 м. Добре виражений ланцюг невеликих хребтів – Плоский, Гребінь, Рижа, Горбище, Семакова. Низькогір'я досить обезліснене, густо заселене.

На зону низькогір'я насунута масивна складка хребта Максимець. Хребет асиметричний, широкий з крутим північним схилом та пологим південним.

Південніше знаходиться смуга Яловичорського середньогір'я з плосковипуклими хребтами та глибокими долинами. Глибина ерозійного розчленування перевищує 500 м.

Яровицьке середньогір'я має найбільші абсолютні висоти (1 574 м). Гірські хребти тут масивні з вирівняно-випуклими гребнями та крутими схилами (хребти Яровиця, Томнатик, Гостовець).

До даного масиву прилягає невелика зона Чивчино-Мармароських гір, розташована у верхів'ї Білого Черемошу, між річками Перкалаб та Сарата. Це скелясте середньогір'я із глибиною ерозійного розчленування становить до 400 м (Геренчук (Ред.) 1978).

Територія дослідження включає невелику частину Буковинського підгір'я з широкими терасованими долинами.

Найвищі вершини Карпатських гір в межах Чернівецької області висотою понад 1 500 м, але зазвичай висоти становлять 800–1 100 м. Найвищою точкою досліджуваної території є гора Яровиця 1 574,4 м, а найнижчою точкою є русло річки Черемош 319,0 м.

2. МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ

Для виконання роботи використовувався супутникові знімки отримані з бази даних геологічної служби США (*USGS EarthExplorer*), з прив'язкою в системі координат WGS-84. Роздільність супутникових знімків становить 15 м × 15 м на піксель та подається в форматі «*GEOTIFF*» та «*TIFF*».

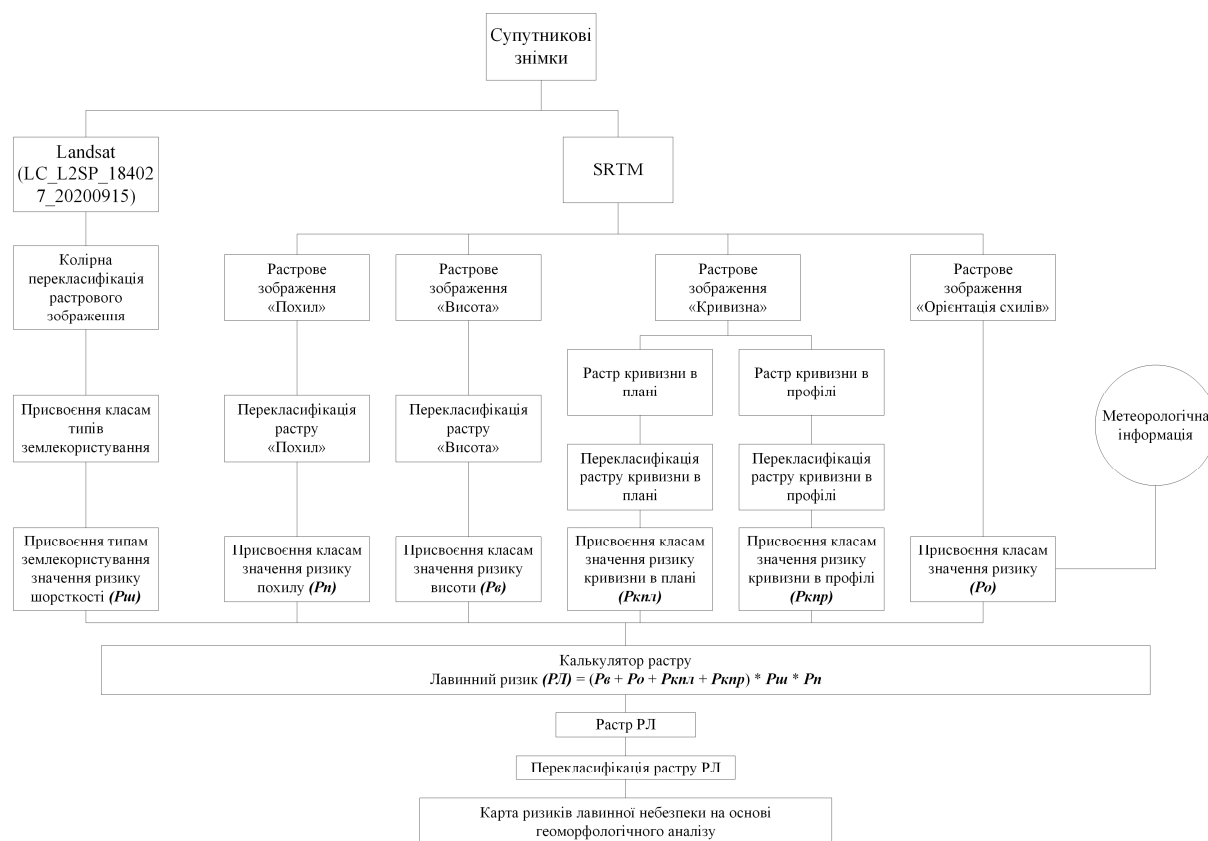


Рис. 1. Алгоритм побудови карт ризиків лавинної небезпеки за допомогою ArcGIS на основі геоморфологічного аналізу

Також використовувалась метеорологічна інформація, а саме дані про швидкість на напрям вітру, за тридцятирічний період (1991–2020 рр.), визначений ВМО стандартним, який відображає сучасні кліматичні умови.

М. Настюк, В. Косован, О. Катринін.

Побудова карт ризиків лавинної небезпеки за допомогою ArcGIS

на основі геоморфологічного аналізу для гірських районів Чернівецької області

Геоморфологічний аналіз гірських регіонів з використанням інструментарію *ArcGIS*, може бути корисний для визначення ризику лавинної небезпеки території Чернівецької області.

Основними геоморфологічними чинниками сходу снігових лавин даного регіону є висота місцевості, похил, експозиція схилів, кривизна схилів та шорсткість. Дане дослідження виконано за допомогою програмного пакету *ArcGIS 10.2* від *Esri* та його модуля *Spatial Analyst*.

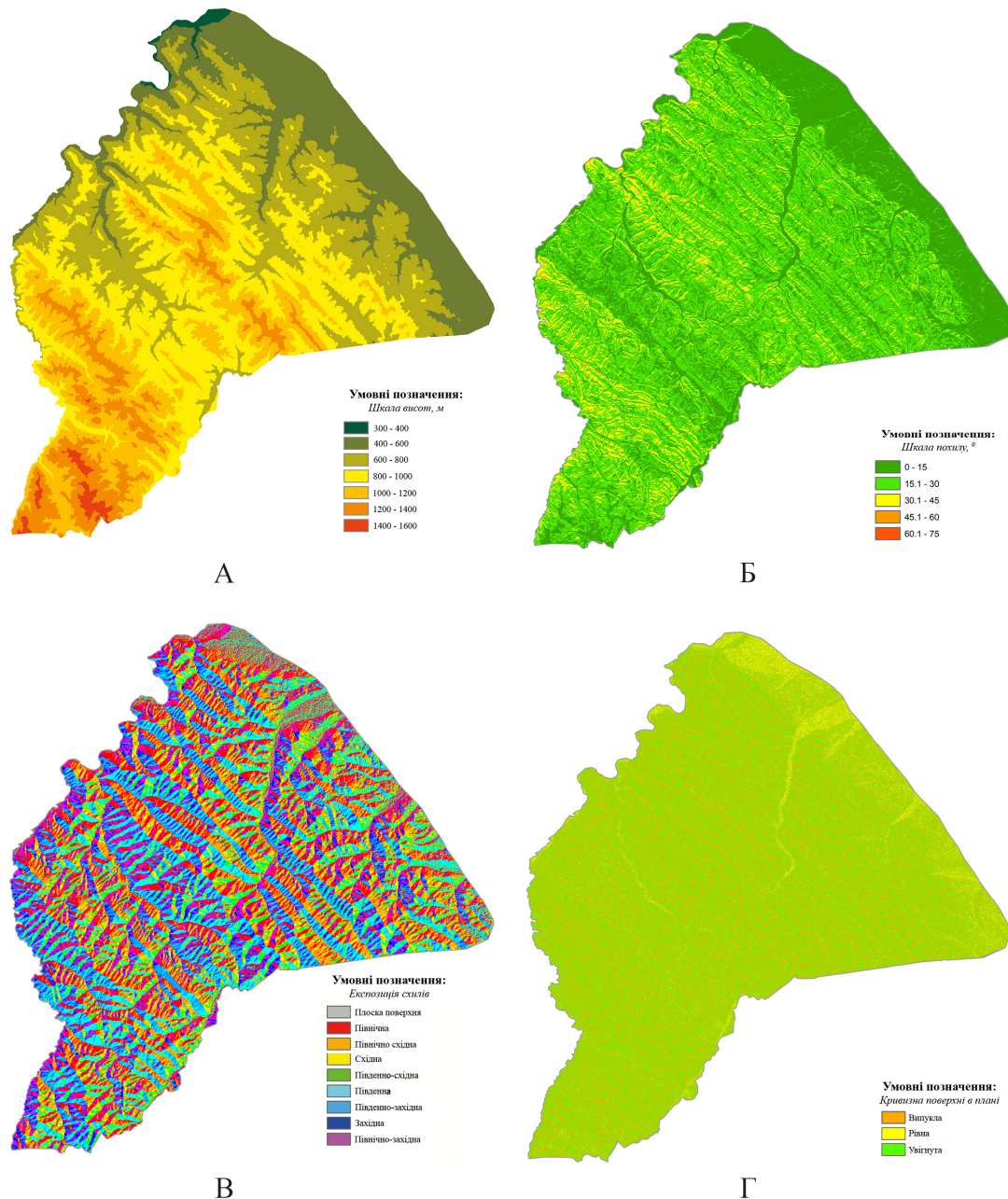


Рис. 2. Картосхеми класів висоти, похилу, експозиції та кривизни схилів досліджуваної території

Загальну схему виконаного нами дослідження можна відобразити наступним чином (рис. 1).

Модель визначення ризиків лавинної небезпеки включає в себе основні геоморфологічні фактори та з певними змінами представлена в багатьох дослідженнях (Гриньків та ін. 2016; Furdada, Vilaplana 1998; Maggioni, Gruber 2003; Biskupic, Barka 2010; Covăsnianu et al. 2011; Kosova et al. 2022). Оскільки основними факторами є похил та

М. Настюк, В. Косован, О. Катринін.

Побудова карт ризиків лавинної небезпеки за допомогою *ArcGIS*

на основі геоморфологічного аналізу для гірських районів Чернівецької області

шорсткість нами була використана *формула 1*, що знайшла своє використання в наукових працях (Biskupic, Barka 2010).

$$\text{Лавинний ризик (РЛ)} = (P_B + P_O + P_{\text{КПЛ}}) \times P_{\text{Ш}} \times P_{\text{П}}, \quad (1)$$

де, P_B – ризик класу небезпеки висота місцевості; $P_{\text{Ш}}$ – ризик класу небезпеки шорсткості, пов'язаний із землекористуванням; P_P – ризик класу небезпеки похил; P_O – ризик класу небезпеки експозиція схилів; $P_{\text{КПЛ}}$ – ризик класу небезпеки кривизна в плані; $P_{\text{КПР}}$ – ризик класу небезпеки кривизна в профілі.

3. РЕЗУЛЬТАТИ ТА ОБГОВОРЕННЯ

За допомогою за допомогою аналізу поверхні *ArcGis – Spatial Analyst* створено растрове зображення класів висоти досліджуваної території на основі супутникового знімку формату *SRTM*. На основі растру за допомогою інструменту *Classify Raster*, виділено 7 класів висот, від 200 м до 1 600 м, з кроком 200 м (рис. 2А).

Класам висоти надано різні коефіцієнти ризику. Нижче 600 м присвоєно нульовий коефіцієнт ризику. Висоти до 600 м це переважно території передгір'я та долини річок Сірет, Черемош, Путила та Сучава. Для території вище 800 м присвоєно коефіцієнти ризику класів небезпеки. За результатами гідрометеорологічних спостережень, із збільшенням висоти збільшується кількість твердих опадів за холодний період року.

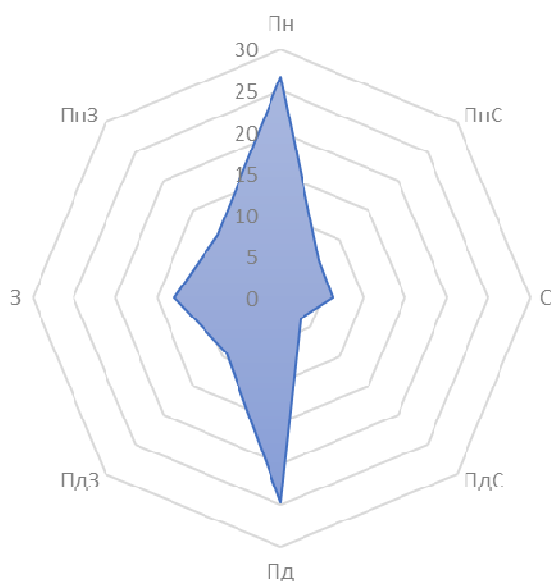


Рис. 3. Повторюваність напрямку вітру та штилю за холодний період, за результатами спостережень по метеорологічній станції Селятин

З використанням модуля *Spatial Analyst* інструмента *Slope* побудовано растрове зображення похилу (крутизни) схилів. Величина похилу на растровому зображенні в нашій роботі подається в градусах (°). Для досліджуваної території похил знаходиться в діапазоні від 0° до 61,2°. На основі растру, за допомогою інструменту *Classify Raster* виділено 5 класів похилу (крутизни) схилів, з кроком 15° (рис. 2Б).

Класам похилу (крутизни) надано різні коефіцієнти ризику. Класам 0°–15° та >60° надано найменший коефіцієнт ризику, оскільки для схилів до 15° навантаження недостатньо велике для сходження снігових лавин, а для схилів крутизною >60° – недостатнє снігонакопичення через значний похил. Класам 15°–30° та 45°–60° надано вищий коефіцієнт ризику. Найбільш сприятливими для сходження снігових лавин виділено схили крутизною 30°–45°.

З використанням модуля *Spatial Analyst* інструмента *Curvature* побудовані растрові зображення кривизни в плані та кривизни в профілі. За допомогою інструменту *Classify Raster* виконано перекласифікацію растрових зображень з виділенням трьох класів (опукла, увігнута та рівна поверхня) та присвоєно коефіцієнти ризику класів небезпеки (рис. 2Г). Опукла поверхня – це опуклі пригребеневі ділянки, для яких характерне знесення снігу, увігнута поверхня – це долини та западини, де сніг акумулюється, рівна поверхня – це переважно передгірні ділянки та заплави річок.

М. Настюк, В. Косован, О. Катринін.

Побудова карт ризиків лавинної небезпеки за допомогою ArcGIS

на основі геоморфологічного аналізу для гірських районів Чернівецької області

Таблиця 1. Класифікація факторів лавинної небезпеки

Фактор небезпеки	Класи фактору небезпеки	Ризик класу небезпеки
Похил	0°–15°	1
	15°–30°	2
	30°–45°	3
	45°–60°	2
	>60°	1
Висота	200–400	0
	400–600	0
	600–800	1
	800–1000	1
	1000–1200	2
	1200–1400	2
	1400–1600	3
Експозиція схилів	Північ	2
	Північний–Схід	1
	Схід	1
	Південний–Схід	2
	Південь	3
	Південний–Захід	2
	Захід	1
	Північний–Захід	1
Кривизна в плані	Плоска поверхня	0
	Увігнута поверхня	1
	Рівна поверхня	1
Кривизна в профілі	Опукла поверхня	2
	Увігнута поверхня	1
	Рівна поверхня	1
Тип землекористування	Опукла поверхня	2
	Лісовий покрив	1
	Трав'яний покрив, чагарники, с/г угіддя, населені пункти	2
	Безлісі ділянки пасовищ, сінокосів, скелі	3

З використанням модуля *Spatial Analyst* інструмента *Aspect* побудовано растрове зображення експозиції схилів з кроком 45°, що дає змогу виділити 8 класів експозиції схилів та плоску територію (рис. 2В). Схили з відповідним орієнтуванням зображуються різними кольорами.

Для надання класам експозиції схилів коефіцієнтів ризику використовувалася метеорологічна інформація (повторюваність напрямку вітру та штилю за тридцятирічний період (1991–2020 рр.) по метеорологічній станції Селятин, яка є єдиною в межах досліджуваної території (рис. 3).

За даними спостережень метеорологічної станції Селятин переважають вітри північного та південного напрямку, що було враховано при наданні ризиків для класів експозиції схилів (табл. 1).

Для визначення шорсткості території було проаналізовано землекористування на даній території. Для цього за допомогою модуля *Spatial Analyst* інструмента *ISO Cluster Unsupervised Classification* опрацьовано супутниковий знімок *Landsat*, виділено 6 класів території, які були перекласифіковані в 4 класи фактору небезпеки (рис. 4). Кожному класу небезпеки надано коефіцієнти ризику класів небезпеки.

Таблиця 2. Обчислені класи лавинної небезпеки

Вихідні класи лавинної небезпеки	Перекласифіковані класи відносної лавинної небезпеки
0 – 14	Відсутній
14 – 32	Низький
32 – 62	Середній
62 – 90	Високий

М. Настюк, В. Косован, О. Катринін.

Побудова карт ризиків лавинної небезпеки за допомогою ArcGIS

на основі геоморфологічного аналізу для гірських районів Чернівецької області

Розрахунок лавинного ризику виконано за допомогою модуля *Spatial Analyst інструменту Raster Calculator*. Растрове зображення ризиків лавинної небезпеки (рис. 5), що було отримано в результаті обрахунку має роздільність 15 м × 15 м в системі координат WGS-84. Растрове зображення із вихідними класами, перекласифіковано із виділенням 4 класів відносної лавинної небезпеки та отримано картосхему лавинної небезпеки гірської території Чернівецької області (табл. 2).

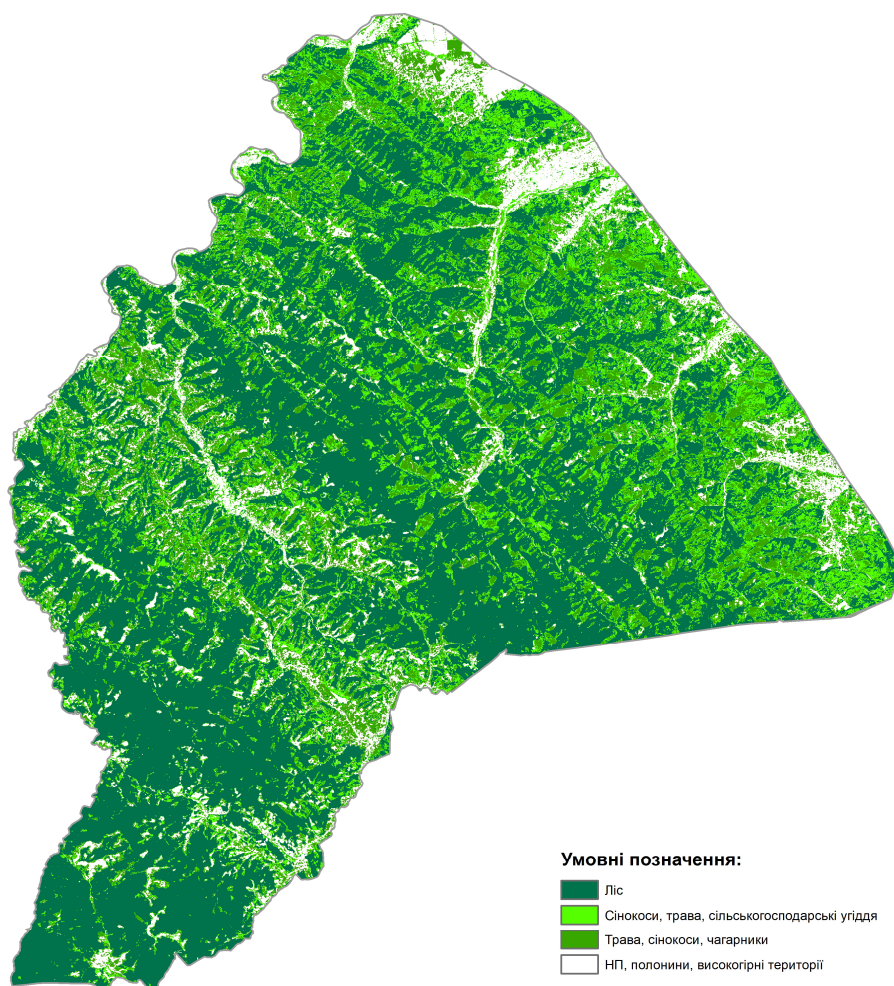


Рис. 4. Перекласифіковані фактори небезпеки території (шорсткість) за результатами аналізу супутникового знімку *Landsat*

4. ВИСНОВКИ

Побудована картосхема відносної лавинної небезпеки для території Чернівецької області дозволяє розширити наші уявлення про можливості сходу снігових лавин на даній території. Геоморфологічний аналіз з використанням можливостей *ArcGIS* є новим для даної території. Проведене дослідження дало змогу розробити карту ризиків відносної лавинної небезпеки. Площа території з низькою лавинною небезпекою становить 237 км², середньою – 15,4 км², високою – 0,1 км². Середня та висока лавинна небезпека це переважно відкриті території, високогірні пасовища, сінокоси, ділянки вирубки лісів.

В ході дослідження виявлено, що найбільш проблемним моментом є відсутність інформації щодо землекористування для визначення ризику шорсткості. Геоморфологічний аналіз лавинної небезпеки перспективним є для невеликих території, гірських хребтів, об'єднаних територіальних громад з використанням більш деталізованих супутникових знімків.

М. Настюк, В. Косован, О. Катринін.

Побудова карт ризиків лавинної небезпеки за допомогою *ArcGIS*

на основі геоморфологічного аналізу для гірських районів Чернівецької області

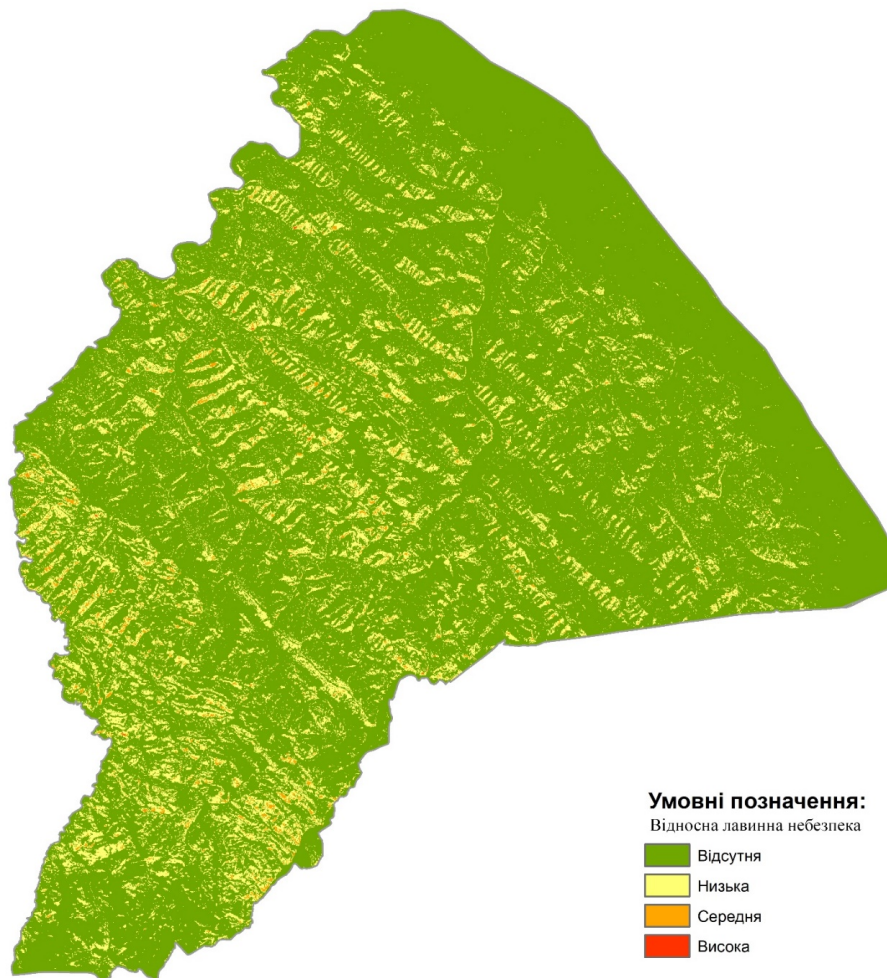


Рис. 5. Картосхема відносної лавинної небезпеки досліджуваної території

Побудовані картосхеми ризиків лавинної небезпеки можуть використовуватися територіальними громадами для планування своєї діяльності, для ведення лісового господарства, туристично-рекреаційної діяльності а також підрозділами Державної служби України з надзвичайних ситуації та Державної прикордонної служби України, тощо.

ЛІТЕРАТУРА

1. Божинский, А.Н., Лосев, К.С. (1987). *Основы лавиноведения*. Ленинград : Гидрометеиздат. [Bozhinskiy, A.N., Losev, K.S. (1987). *Osnovy lavinovedeniya*. Leningrad : Gidrometeoizdat.]
2. Грицьків, Н., Лайкун, Л., Бабій, Л. (2016). Картування лавинонебезпечних територій з використанням ГІС-технологій. *ISTCGCAP*, 84, 44-55. [Hrytskiy, N., Laikun, L., Babii, L. (2016). Kartohrafuvannya lavynonebezpechnykh terytorii z vykorystanniam HIS-tekhnologii. *ISTCGCAP*, 84, 44-55.]
3. Грищенко, В.Ф., Аксюк, О.М., Гончаренко, Г.А. (2013). *Довідник зі снігового покриву в горах України (Карпати, Крим)*. Київ : Український науково-дослідний гідрометеорологічний інститут. [Hryshchenko, V.F., Aksiuk, O.M., Honcharenko, H.A. (2013). *Dovidnyk zi snihovoho pokryvu v horakh Ukrainy (Karpaty, Krym)*. Kyiv : Ukrainskyi naukovo-doslidnyi hidrometeorologichnyi instytut.]
4. Грищенко, В.Ф., Аксюк, О.М., Гончаренко, Г.А. (2014). *Кадастр снігових лавин України*. Київ : Український гідрометеорологічний інститут. [Hryshchenko, V.F., Aksiuk, O.M., Honcharenko, H.A. (2014). *Kadastr snihovykh lavyn Ukrainy*. Kyiv : Ukrainskyi hidrometeorologichnyi instytut.]
5. Геренчук, К.І. (Ред.) (1978). *Природа Чернівецької області*. Львів : Вища школа. [Gerenchuk K.I. (1978). *Pruroda Chernivetskoï oblasti Iviv : Vushcha shkola.*]

М. Настюк, В. Косован, О. Катринін.

Побудова карт ризиків лавинної небезпеки за допомогою ArcGIS

на основі геоморфологічного аналізу для гірських районів Чернівецької області

6. Biskupic, M., Barka, I. (2010). Spatial modelling of snow avalanche runouts using GIS. *Proceedings of the Zborník z 22. Sjezdu České geografické Společnosti, (Ostrava, Czech Republic, 1–3 October 2010)*, 8-19.
7. Covăsnianu, A., Grigoras, I.R., Balin, D., State, L.E., Hogas, S. (2011). Mapping Snow Avalanche Risk Using GIS Technique and 3D Modeling: Case Study Ceahlau National Park. *Romanian Journal of Physics*, 56(3-4). 476-483.
8. Delparte, D. (2008). *Avalanche Terrain Modeling in Glacier National Park, Canada*. PhD Thesis, University of Calgary, Calgary, AB, Canada.
9. Furdada, G., Vilaplana, J.M. (1998). Statistical predication of maximum avalanche run-out distances from topographic data in the western Catalan Pyrenees (northeast Spain). *Annals of Glaciology*, 26, 285-288.
10. Kosova, V., Molokac, M., Cech, V., Jesensky, M. (2022). Avalanche Hazard Modelling within the Král'ova Hol'a Area in the Low Tatra Mountains in Slovakia. *Land*, 11, 766.
11. Maggioni, M., Gruber, U. (2003). The influence of topographic parameters on avalanche release dimension and frequency. *Cold Regions Science and Technology*, 37(3), 407-419.
12. Marana, B. (2017). An ArcGIS Geo-Morphological Approach for Snow Avalanche Zoning and Risk Estimation in the Province of Bergamo. *Journal of Geographic Information System*, 9. 83-97
13. Voiculescu, M., Ardelean, F., Török-Oance, M., Milian, N. (2016) Topographical Factors, Meteorological Variables and Human Factors in the Control of the Main Snow Avalanche Events in the FĂGĂRAȘ Massif (Southern Carpathians – Romanian Carpathians): Case Studies. *Geographia Polonica*, 89, 47-64.

M. Nastiuk, V. Kosovan, O. Katrynin

**The composition of avalanche hazard maps
with the help of ArcGIS on the base of geomorphological analysis
for the mountainous areas of Chernivtsi region**

Keywords: avalanche hazard, relief, underlying surface, spatial analysis, GIS technology.

Annotation: An analysis of the geomorphological factors of avalanche formation in the mountains of Chernivtsi region has been. With the use of ArcGis, a geomorphological analysis has been carried out and classes of avalanche danger were identified. An avalanche danger map for the mountainous territory of the Chernivtsi region has been constructed. Territories with increased avalanche risk have been identified, thanks to GIS technologies, the areas of territories with certain classes of avalanche danger have been calculated. A description of the territories with the highest classes of avalanche danger has been carried out.

М. Настюк, В. Косован, О. Катринін.

Побудова карт ризиків лавинної небезпеки за допомогою ArcGIS

на основі геоморфологічного аналізу для гірських районів Чернівецької області