

КАРТОГРАФУВАННЯ ЛАВИНОНЕБЕЗПЕЧНИХ ТЕРИТОРІЙ З ВИКОРИСТАННЯМ ГІС-ТЕХНОЛОГІЙ

Мета. Лавиноутворення є природним явищем, здатним зумовити загибель людей, спричиняти руйнування житлових та виробничих будівель, завдавати збитків лісовому, сільському господарствам та розвитку туризму у гірських районах. Моніторинг та дослідження потенційно лавинонебезпечних територій є актуальним завданням, одну з провідних ролей у вирішенні якого можуть відіграти засоби геоінформаційного моделювання. Тому метою цієї роботи є створення растрової тематичної карти лавинної небезпеки на основі аналізу окремих геоморфотричних та природних чинників лавиноутворення на території хребта Полонини Боржави. **Методика.** Через векторизацію картографічних матеріалів отримано цифрову модель місцевості. Створену векторну модель інтерпольовано у растрову, яка стала основою для класифікації геоморфотричних чинників лавиноутворення. Чинниками утворення лавин обрано з постійних – нахил схилів, кривину та орієнтування схилів і один змінний природний чинник – напрямок вітрів. Отримані растри перекласифіковані для виконання подальших операцій над ними із застосуванням інструментів алгебри карт, а саме растрового калькулятора. У результаті суми растрів нахилів, кривини та орієнтування схилів і генералізації кількості отриманих класів, виділено класи територій лавинної небезпеки залежно від поєднання величин нахилу та експозиції. **Результати.** Створено цифрову модель рельєфу та растрову тематичну карту лавинонебезпечних ділянок хребта Полонини Боржави. **Наукова новизна.** Комплексний підхід, який передбачає інтеграцію картографічного матеріалу, статистичних метеорологічних даних та окремих геоморфотричних даних про поверхню в єдину геоінформаційну систему, дає змогу виділити території постійної дії сніголавинних явищ хребта Полонини Боржави. **Практична значущість.** Для визначення територій з різним ступенем лавинної небезпеки враховано окремі геоморфотричні параметри рельєфу хребта Полонини Боржави. Проведено картографування сніголавинних явищ Боржавського хребта у масштабі 1:50000. Наявність тематичної карти відносної лавинної небезпеки дасть змогу фахівцям зосередити увагу на конкретних територіях під час планування діяльності та виникнення потенційних загроз від сходження снігових лавин.

Ключові слова: лавинна небезпека; тематичне картографування; геоморфотричні параметри поверхні; цифрова модель рельєфу; ГІС-технології; ArcGIS.

Вступ

Снігові лавини – це стихійне природне явище знесення великих мас снігу з гірських схилів та їх рух донизу з великою швидкістю, здатне викликати як загибель людей, так і спричинити значні руйнування житлових та виробничих будівель, завдавати збитків лісовому, сільському господарствам та розвитку туризму у гірських районах. Виділяють дві групи чинників лавиноутворення: постійні та змінні. До постійних належать умови, пов'язані з рельєфом місцевості та підстильною поверхнею: відносна висота місцевості, розчленування рельєфу, крутизна та експозиція схилів, кривина та шорсткість поверхні. До змінних чинників включають: погоду (інтенсивність снігопаду, тип нового снігу та його добовий приріст, дощі, вітри); теплові умови; сонячну радіацію; умови у сніговому покриві (загальна висота снігу та його стратиграфія) [Колотуха О. В., 2008; Баран Я., 2015]. Нахил і експозиція – основні геоморфотричні параметри, які найчастіше використовують для прогнозування виникнення лавин, можна отримати з топографічних карт. Різні метеорологічні чинники складніші для картографічного відображення та візуалізації через притаманну їм мінливість у часі, динамічність та відсутність унікальної просторової прив'язки [Kriz, 2001]. Тому, авторами зроблено спробу побудувати спрощену модель з врахуванням окремих чинників лавиноутворення і на її основі створити растрову тематичну карту лавинної небезпеки.

Аналіз літературних джерел

Основним методом геоморфометрії є геоморфометричний аналіз, що полягає в отриманні кількісних характеристик земної поверхні та розташованих на ній об'єктів на основі ЦМР у ГІС-середовищі. В основу геоморфометричного аналізу растрових ЦМР покладено два вихідні положення. Перше ґрунтується на математичній формалізації земної поверхні, а друге передбачає розрахунок показника в точці (пікселі) з урахуванням його оточення. Згідно першого положення, з математичної точки зору, ЦМР є моделлю скалярного геополя, яке характеризує просторовий розподіл показника висоти та в загальному вигляді описується виразом:

$$z = f(x, y), \quad (1)$$

де z – значення висоти в точці з географічними координатами (x, y) . Для кращої апроксимації рельєфу рівняння (1) можна виразити більш складними функціями (наприклад, поліноміальними). Завдяки цьому стає можливим використання математичного аналізу не лише для удосконаленого подання земної поверхні, але і для вивчення її властивостей, наприклад, на основі розрахунку похідних різних порядків.

Згідно другого положення, основною аналітичною операцією в ГІС, яка застосовується для розрахунку більшості параметрів на основі растрової ЦМР, є аналіз оточення. Цей вид геопросторового аналізу дозволяє кількісно описати зв'язки між об'єктом (пікселем) та його найближчим оточенням, застосовуючи для розрахунку локальне (як правило, розміром 3×3 пікселі) вікно, що ковзає [Свідзінська Д. В., 2014].

Морфометричні параметри, отримані з ЦМР, сприяють ефективності візуального розпізнання різних форм рельєфу, які в свою чергу є фундаментальним поняттям у будь-якому геоморфологічному аналізі [Wang Huabin, Liu Gangjun, Xu Weiya, Wang Gonghui, 2005; Шарый П. А., 2006].

Швейцарські дослідники [Maggioni M., Gruber U., 2003] виділяють три етапи визначення лавинонебезпечних територій:

- 1) визначення потенційних ділянок утворення лавин, за загальною інформацією;
- 2) характеристика цих ділянок з урахуванням основних геоморфологічних параметрів;
- 3) статистичний аналіз минулих випадків сходження лавин з урахуванням раніше отриманих геоморфологічних параметрів.

Для території Карпат картографування сніголавинних явищ із використанням геоморфометричних параметрів поверхні проводилося румунськими дослідниками [A. Covăşnianu, I. R. Grigoraş, L. E. State, D. Balin, S. Hogaş, I. Balin, 2009; I. M. Simea, 2012], в результаті чого отримано растри лавинного ризику гірських масивів Чахлеу та Родна, що у Східних Карпатах в Румунії.

В Українських Карпатах стандартну метеоінформацію збирають на мережі станцій і постів, спеціальну – на снігомірних маршрутах, в ході експедиційних зимових та весняно-літніх наземних аеровізуальних обстежень, а також на двох сніголавинних станціях: Пожижевська, що знаходиться у Чорногірському масиві та Плай, розташованій безпосередньо на об'єкті даного дослідження на вершині однойменної гори на висоті 1331 м над рівнем Балтійського моря.

Хребет Полонина Боржава (рис. 1) за останні десятиріччя став надзвичайно привабливим місцем серед туристів. Потенціал хребта почали активно використовувати для розвитку зимових видів спорту та рекреації, антропогенний вплив у даному регіоні постійно зростає.

Довжина гірського масиву близько 50 км, пересічна ширина 3–4 км (місцями до 10 км і більше), висота до 1681 м (г. Стій). Боржава – найдовша полонина Закарпаття; пригребеневі поверхні вирівняні, з конусуватими вершинами; західні схили — круті, у нижній частині вкриті буковими пралісами з окремими хвойними деревами; південні та східні схили — більш спадисті, вкриті ділянками луків; північні схили йдуть униз крутими, місцями скелястими урвищами. Схили помережані притоками річок Боржави, Латориці, Ріки. Верхня межа лісу проходить на позначці близько 1200 м над рівнем моря. У нижньому гірському поясі (500–1000 м, а на південно-західних схилах до 1200 м) поширені букові і смереково-ялицеві ліси. У субальпійському поясі переважають



Рис. 1. Об'єкт дослідження – хребет Полонина Боржава.

білоусники й мохово-лишайникові пустощі. Безлісі вершини гірських хребтів (полонини) вкриті луками. Лавини виникають практично на всіх безлісних крутих схилах, про що свідчать лавинні осередки, які нерідко вклинюються в лісові масиви. Боржавський хребет відрізняється асиметрією поперечного профілю і глибокими поперечними долинами. Глибина розчленування складає 500-1000 м. Ерозійно-денудаційні процеси інтенсивно розвинені. Вододіл хребта лавинонебезпечний по всіх експозиціях схилів, крутість яких коливається в межах 20-40°. Сніговий покрив з'являється на початку листопада, а інколи навіть у вересні. Руйнування снігового покриву починається у березні, але на окремих ділянках він зберігається до червня. На висотах більше 1000 метрів над рівнем моря потужність снігового покриву досягає 1,0 – 1,5 м, а в деяких місцях лавинозбірників – більше 3,0 м. У середньому в районі випадає близько 1700 мм опадів за рік, значно більше, ніж в інших районах Українських Карпат. З них більше 30% опадів випадає в холодну пору року. З пригребневих, полонинних ділянок гір сніг здувається вітром (в основному південно-західних румбів – більше 50% загального обсягу) на схили гір і накопичується значними масивами в різних низинах (денудаційних западинах, ерозійних борознах, тальвегах) і в районі верхньої межі лісу. На схилах Боржави зафіксовано 36 лавинонебезпечних ділянок, що діють постійно, на яких з 1970 по 2009 роки зафіксовано 539 сходжень лавин [Мягков С. М., Канаєв Л. А., 1992; Колотуха О. В., 2008; Тавров Ю. С., Грищенко В. Ф., 2011; Тиханович Є. Є., Біланюк В. І., 2015].

Накопичені впродовж багатьох років дані дають змогу виділити окремі ділянки хребта Полонина Боржава, де лавини сходять найчастіше. Проте, охопити всі ділянки цього досить великого об'єкту в польових умовах за несприятливої погоди складно. Тому, для попередження сходження лавин доцільно застосувати методи геоінформаційного моделювання.

Мета

Моніторинг та дослідження потенційно лавинонебезпечних територій є актуальним завданням, одну з провідних ролей у вирішенні якого можуть відіграти засоби геоінформаційного моделювання. Тому, метою даної роботи є створення растрової тематичної карти лавинної небезпеки на основі аналізу окремих морфометричних та природних чинників лавиноутворення на території хребта Полонина Боржава.

Методика

Основними геоморфометричними параметрами, які визначають можливість утворення лавин на тій чи іншій території є нахил, експозиція та кривина поверхні. Ці геометричні чинники і стали основою для моделювання.

Дослідження проводилися за технологічною схемою, поданою на рис. 2.

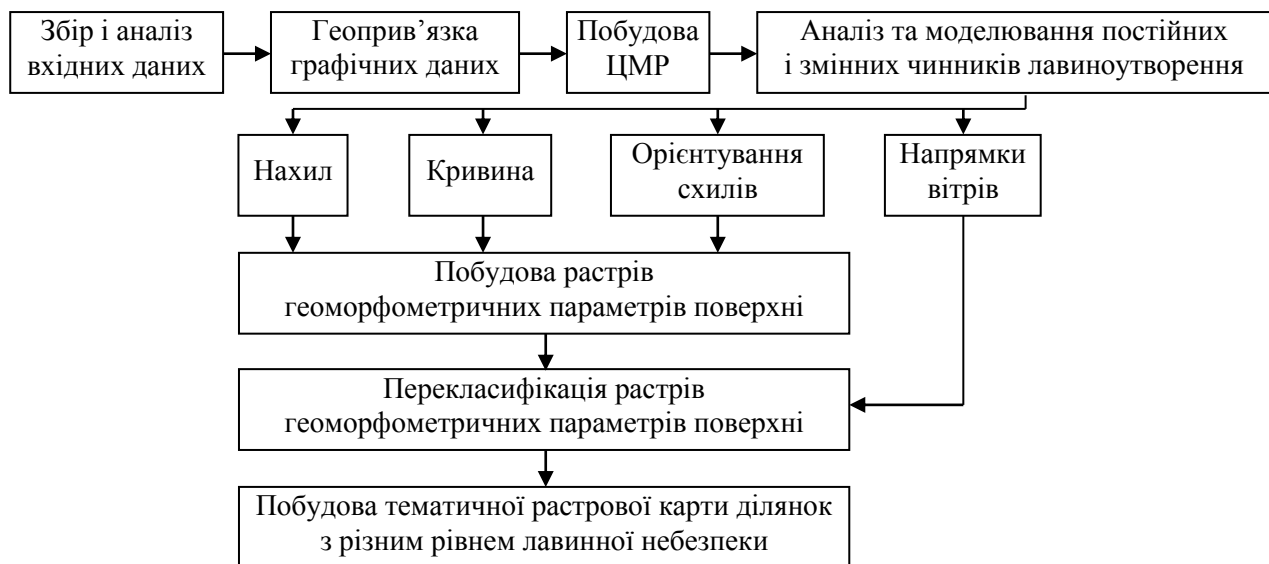


Рис. 2. Загальна технологічна схема досліджень.

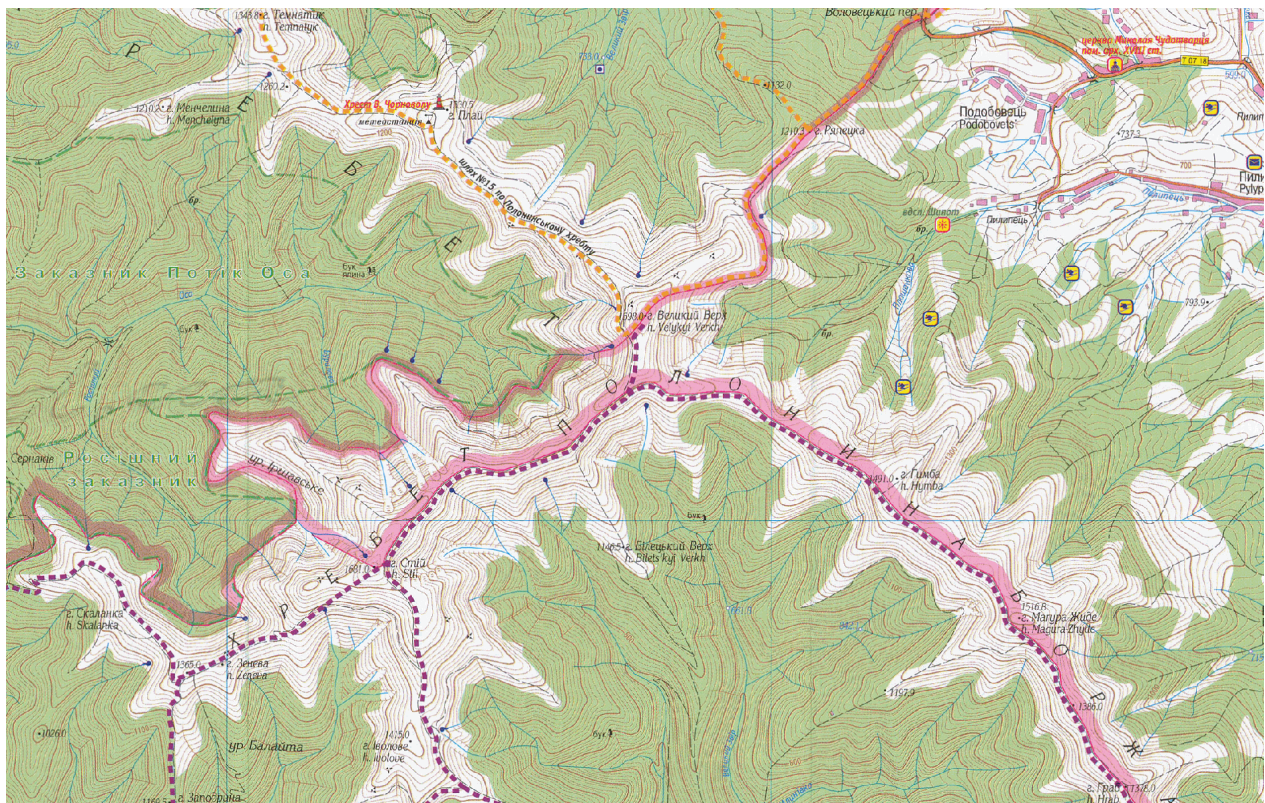


Рис. 3. Фрагмент топографічної карти хребта Плонина Боржава.

Для проведення експериментальних робіт використано картографічний матеріал і дані метеорологічних спостережень: топографічну растрову карту Свалявського району в масштабі 1:50000 з перетином рельєфу 20 м видавництва ДНВП «Картографія», 2010 р. (рис. 3), яка стала основою для побудови ЦМР; дані про кліматичні умови на ділянці досліджень, отримані з статистичних метеорологічних спостережень про переважаючі напрямки вітрів на метеостанції Плай за тридцятирічний період.

Всі наступні етапи робіт виконано в геоінформаційній системі ArcGIS. Дана геоінформаційна система є повнофункційним програмним продуктом для аналізу геоданих, розв'язання прикладних завдань, зокрема картографування та просторового аналізу.

Вхідна топографічна карта відсканована з розрізненням 256 dpi, розмір одного пікселя відповідає 5 м на місцевості. Геоприв'язка карти виконана за допомогою інструмента Georeferencing, карті присвоєна система проєктованих координат WGS_1984_UTM_Zone_34N.

Цифрову модель рельєфу побудовано за створеними векторними шарами горизонталей та позначок висот, починаючи з висоти 1000 метрів, що охоплює територію з верхнім ярусом лісу. Для кращого візуального сприйняття оцифровано гідрографічну мережу та верхню межу лісу.

Подальші побудови виконано з використанням групи інструментів аналізу поверхні (Spatial Analyst Tools). За допомогою інструмента Торо To Raster за векторизованими горизонталями і позначками висот створено растрову ЦМР.

Інструмент Торо to Raster інтерполює гідрологічно коректну растрову поверхню за точковими, лінійними і полігональними даними. Інструмент використовує метод інтерполяції, спеціально розроблений для створення неперервних поверхонь за горизонталями, які більш точно передають природну дренажну поверхню і краще зберігають мережі ліній ребер і потоків. Ізолінії служать надійними індикаторами водотоків та ліній водорозділів (хребтів). Для типу вхідних даних ізоліній (CONTOUR) алгоритм спочатку будує генералізовану морфологію поверхні, ґрунтуючись на кривині ізоліній. Після визначення загальної морфології поверхні дані ізоліній використовують для інтерполяції значень висот в кожній комірці.

Даний метод обрано, оскільки він спеціально розроблений для створення ЦМР за горизонталями, що становлять переважну частину векторизованих вхідних даних. Метод має певні переваги перед іншими методами інтерполяції. Він оптимізований, щоб мати обчислювальну ефективність методів локальної інтерполяції, наприклад, інтерполяції методом обернено зважених відстаней (ОЗВ), без втрати неперервності поверхні методів глобальної інтерполяції, таких як Крігінг (Kriging) і Сплайн (Spline). Створена цим методом ЦМР відповідає різким змінам поверхні (таким як ущелини, гірські хребти, круті обриви) [Справка ArcGIS (10.2, 10.2.1 и 10.2.2)].

Для відображення ЦМР виділено 7 класів висот (від 1000 м до понад 1600 м) з кроком 100 метрів, а для кращого візуального сприйняття використано інструмент відмивки рельєфу з елементом напівпрозорості. Створена растрова ЦМР (рис.4) стала основою для побудови серії растрів геоморфометричних параметрів поверхні Боржавського хребта.

За допомогою інструмента Slope побудовано растр нахилу (крутизни) схилів. Нахил поверхні – кут нахилу в точці між горизонтальною площиною та площиною, дотичною до земної поверхні; фіксує інтенсивність перепаду висот (градієнт) між двома заданими точками. Якщо земна поверхня подана функцією (1), то нахил розраховують з врахуванням змін значень z за двома напрямками:

$$\alpha = \tan^{-1} \left(\sqrt{\left(\frac{\partial z}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial z}{\partial y} \right)^2} \right), \quad (2)$$

де $\frac{\partial z}{\partial x}$ та $\frac{\partial z}{\partial y}$ – похідні першого порядку, які відображають зміну значень абсолютної величини z з заходу на схід (x) та з півночі на південь (y) [Свідзінська Д. В., 2014].

Значення нахилу подано у градусах з кроком 15°. Дана класифікація виконана для виокремлення ділянок хребта, що є потенційно лавинонебезпечними (з ухилами 15°-45°) та ділянок, на яких сходження лавин є малоімовірне або неможливе. Фрагмент створеного растру показано на рис. 5.



Рис. 4. Фрагмент растру ЦМР з гідрографічною мережею.

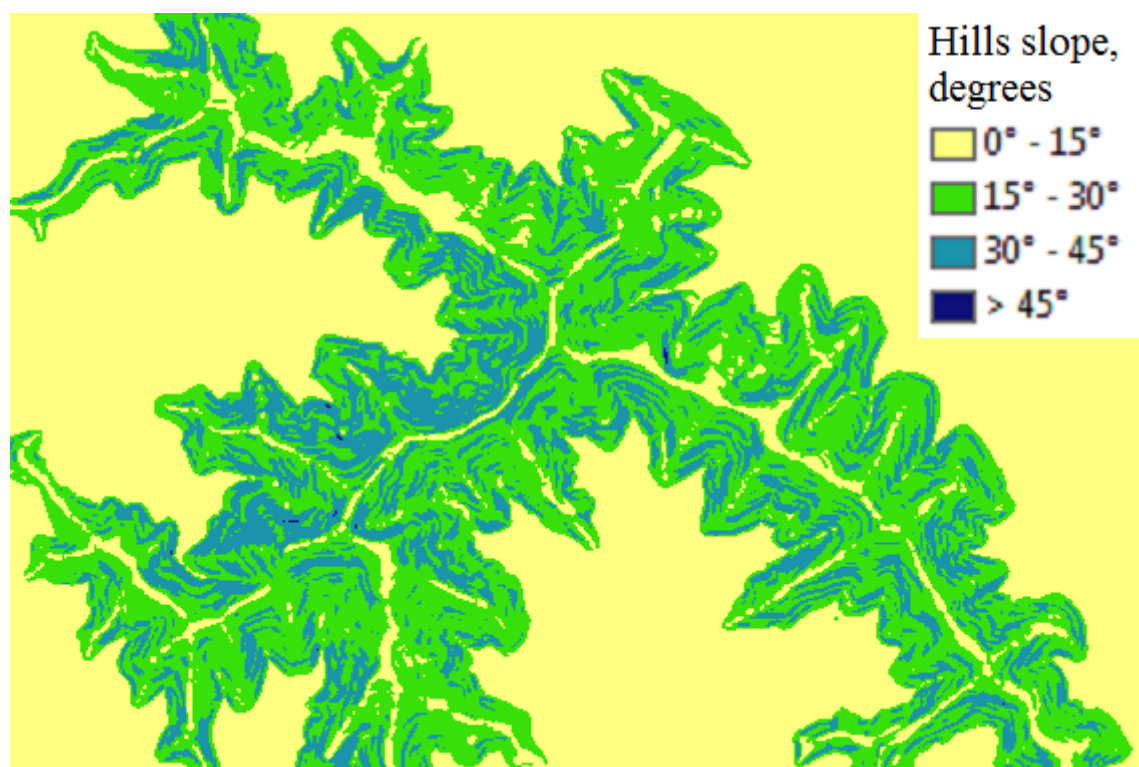


Рис. 5. Фрагмент растру нахилів (крутизни) схилів у градусах.

З використанням інструмента Aspect створено растр орієнтування схилів у просторі відносно сторін світу (експозиція).

Для земної поверхні, поданою функцією (1), експозиція розраховується за виразом:

$$\beta = -\tan^{-1}\left(\frac{\partial z/\partial x}{\partial z/\partial y}\right), \quad (3)$$

де $\frac{\partial z}{\partial x}$ та $\frac{\partial z}{\partial y}$ – похідні першого порядку, які відображають зміну значень абсолютної висоти z з заходу на схід (x) та з півночі на південь (y) [Свідзінська Д. В., 2014].

Растр класифіковано методом рівних інтервалів з кроком 45° , що дає змогу виокремити 8 класів схилів відповідно до основних та проміжних сторін світу. Різні кольори відображають схили з відповідним орієнтуванням стосовно сторін світу (рис. 6).

За допомогою інструмента Curvature подано кривину поверхні хребта (рис. 7).

Планова (горизонтальна) кривина – кривина лінії, утвореної перетином земної поверхні з площиною, перпендикулярною до напрямку експозиції максимального градієнта; описує градієнт експозиції вздовж заданого контуру. Якщо земна поверхня подана функцією (1), то планова кривина є функцією її часткових похідних і розраховується за формулою [Свідзінська Д. В., 2014]:

$$C = \frac{\left(\frac{\partial z}{\partial y}\right)^2 \frac{\partial^2 z}{\partial x^2} - 2 \frac{\partial z}{\partial x} \frac{\partial z}{\partial y} \frac{\partial^2 z}{\partial x \partial y} + \left(\frac{\partial z}{\partial x}\right)^2 \frac{\partial^2 z}{\partial y^2}}{\sqrt{\left(\left(\frac{\partial z}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial z}{\partial y}\right)^2\right)^3}} \quad (4)$$

Для її відображення використано функцію розтягування: чорним кольором відображено увігнуті ділянки, яким відповідають западини з долинами річок, білому кольору відповідають опуклі ділянки поверхні, в даному випадку – це зони водорозділів.

Наступний етап робіт – перекласифікація отриманих растрових зображень для виконання подальших операцій над ними із застосуванням інструментів алгебри карт, а саме растрового калькулятора.

Для растру нахилів схилів виділено 2 класи – це схили з нахилами 15° - 30° та 30° - 45° (рис. 8).

Дані межі обумовлені тим, що порушення стійкості снігового покриву й утворення лавин найчастіше спостерігають на схилах крутизною від 15° до 45° . На крутіших схилах сніг погано утримується, так як більшість сніжинок під час снігопаду скочується вниз і великі маси снігу відкладаються відносно рідко. За нахилу менше 15° навантаження недостатньо велике для виникнення снігових лавин [Колотуха О. В., 2008].

Для перекласифікації растру експозиції схилів використано дані про повторюваність вітрів зі швидкістю понад 20 м/с за румбами (табл. 1). Ці дані отримано за період спостережень 1968-1999 рр. на метеостанції Плай [Лавний В. В., 2009].

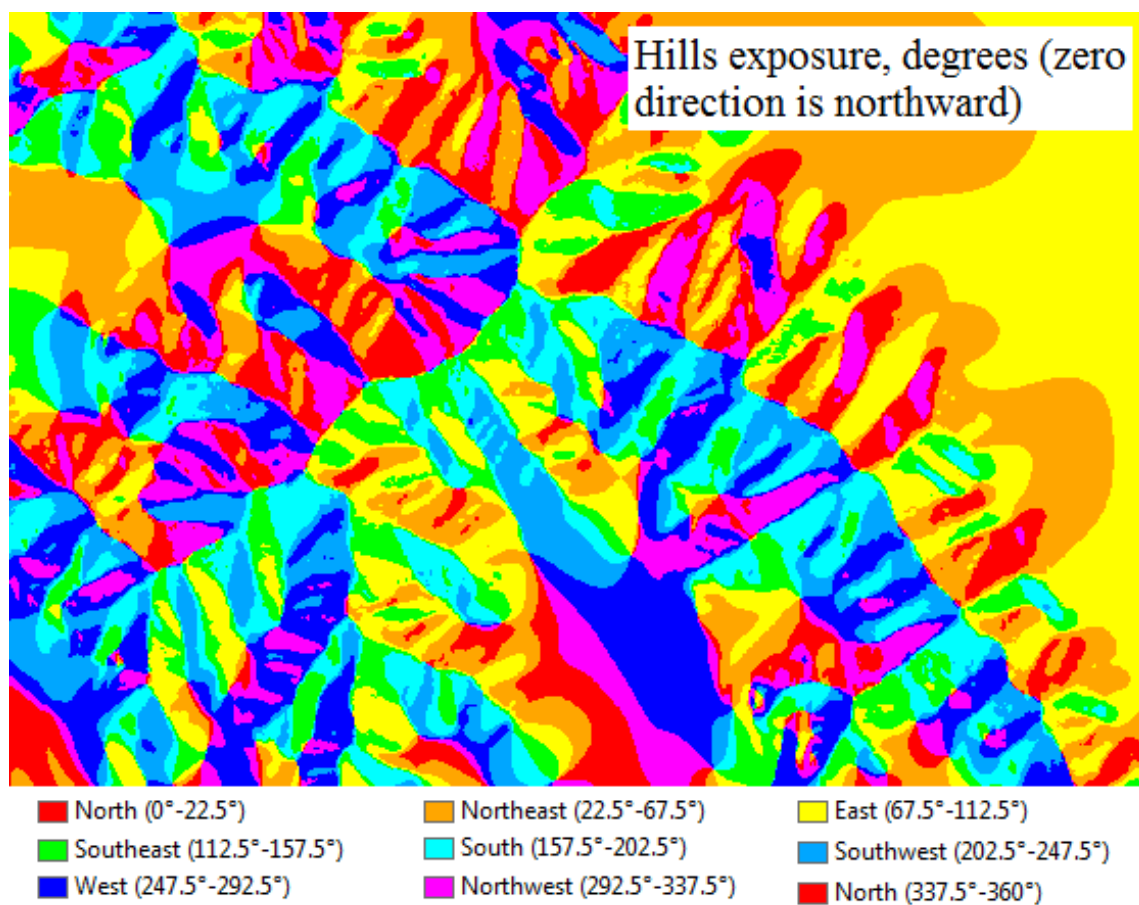


Рис. 6. Фрагмент растру орієнтування схилів стосовно сторін світу.

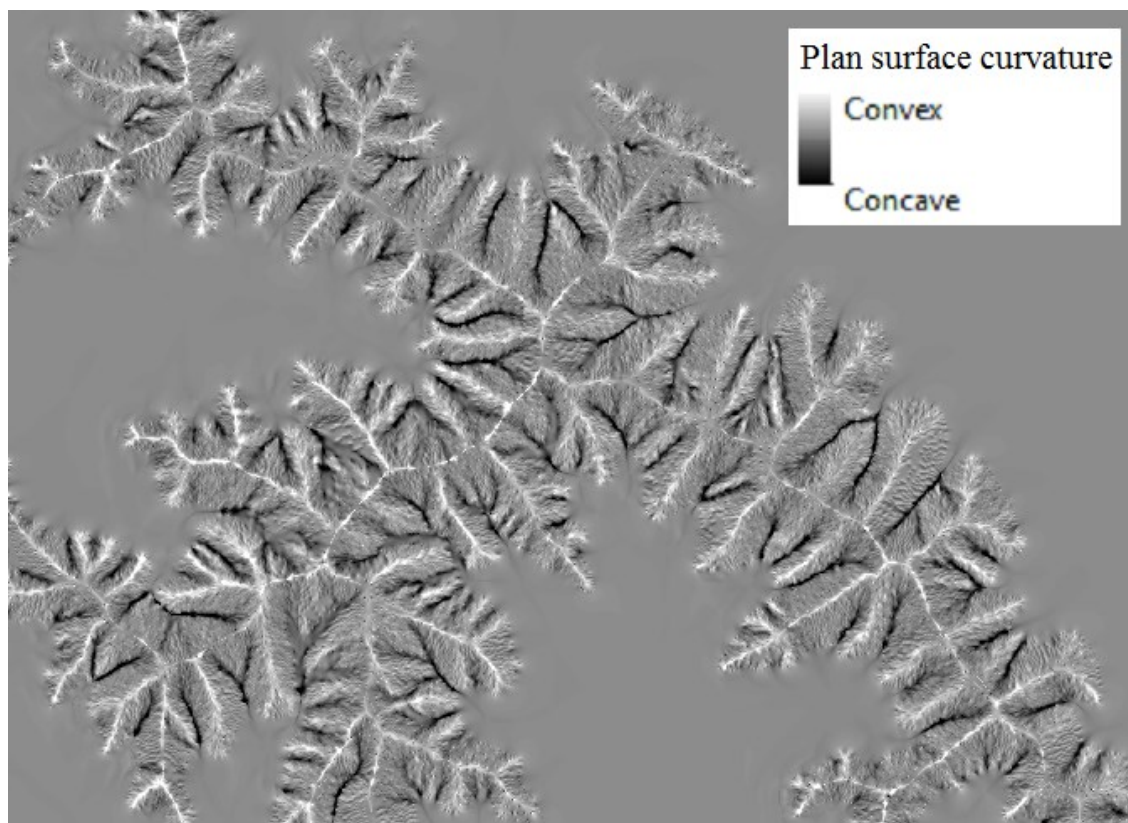


Рис. 7. Фрагмент растру кривини поверхні хребта.

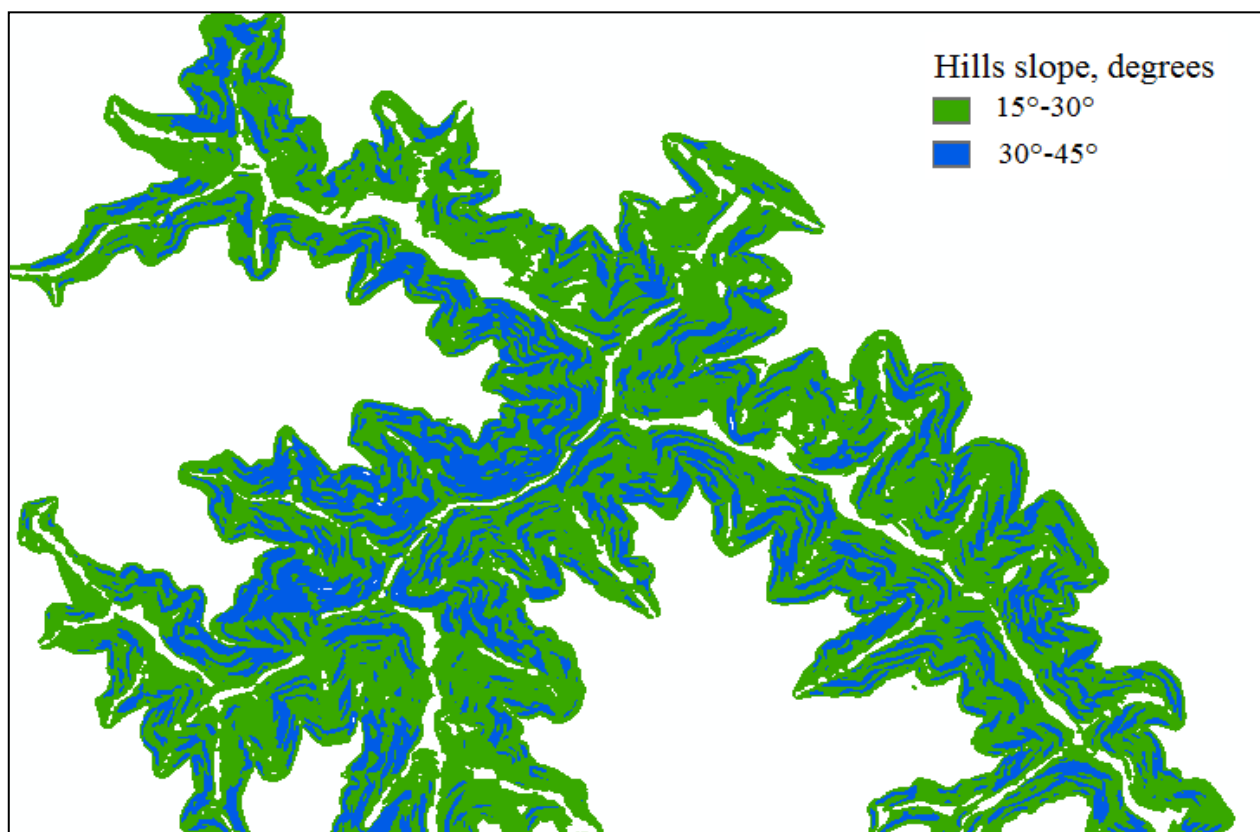


Рис. 8. Фрагмент перекласифікованого растру нахилів (крутизни) схилів.

Таблиця 1

**Повторюваність вітрів зі швидкістю понад 20 м/с
за даними метеостанції Плай за румбами**

Румб	Повторюваність вітру, % від загального числа
Пн	5
Пн-Сх	9
Сх	3
Пд-Сх	6
Пд	17
Пд-Зх	53
Зх	4
Пн-Зх	3

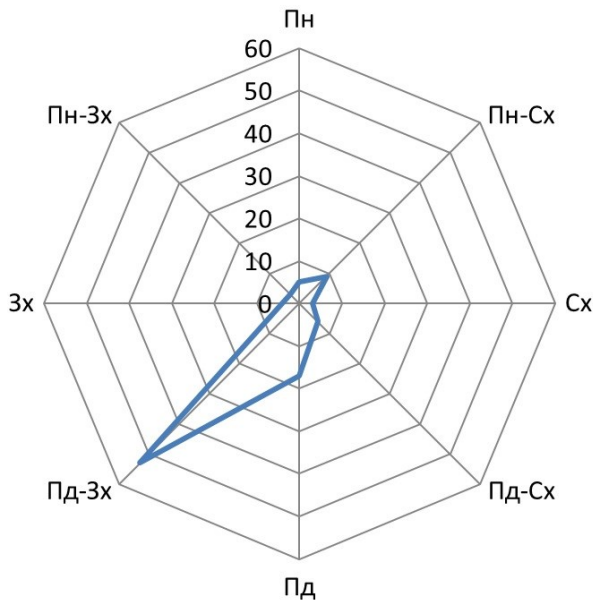


Рис. 9. Роза вітрів, складена за даними метеостанції Плай.

Отже, серед загальної кількості випадків зафіксованих вітрів зі швидкістю понад 20 м/с 57% були вітри південно-західного напрямку та 17% південного. Повторюваність вітрів всіх інших напрямків є порівняно незначною і для кожного з напрямків становить менше 10% від загальної кількості. Як видно з рис. 9 роза вітрів для даної території є дуже асиметричною.

Південно-західні і південні вітри спричиняють активне снігоперенесення з навітряних схилів, тобто в даному випадку з південно-західних та південних схилів на підвітряні північно-східні та північні схили. За цими даними виокремлено 4 класи орієнтування схилів (рис. 10): Пн, Пн-Сх, на які припадає найактивніше снігонакопичення; Пн-Зх, Сх і Зх, Пд-Сх – проміжні експозиції по віддаленості від першого класу схилів; Пд-Зх, Пд, з яких відбувається найактивніше снігоперенесення.

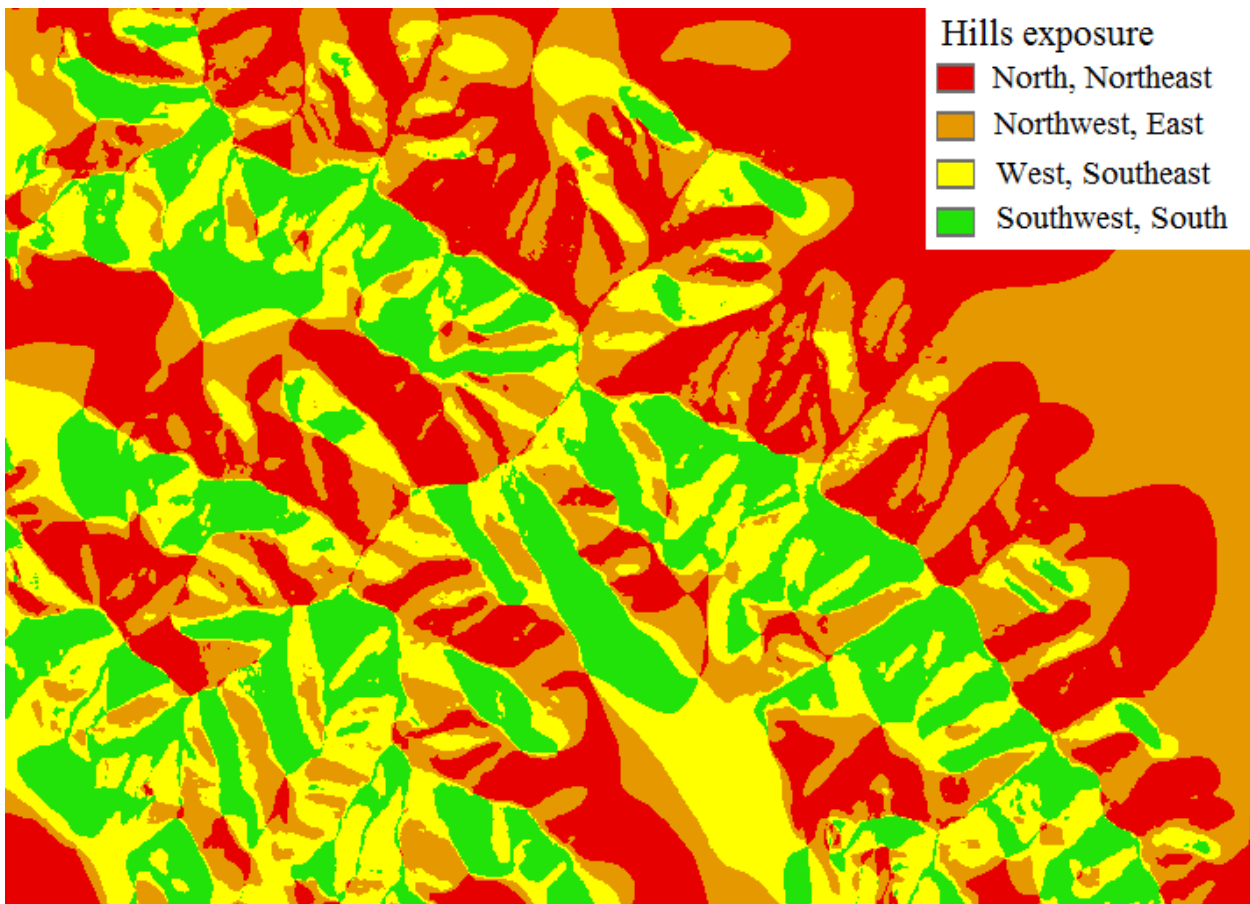


Рис. 10. Фрагмент перекласифікованого растру орієнтування схилів з врахуванням напрямків вітрів.

Для візуальної оцінки потенційних місць лавинозбірників та траєкторій руху лавин на схилах перекласифіковано растр планової кривини поверхні (рис. 7). Коміркам вихідного растру присвоєно числові значення кривини: для увігнутих поверхонь – від’ємне, для опуклих – додатне

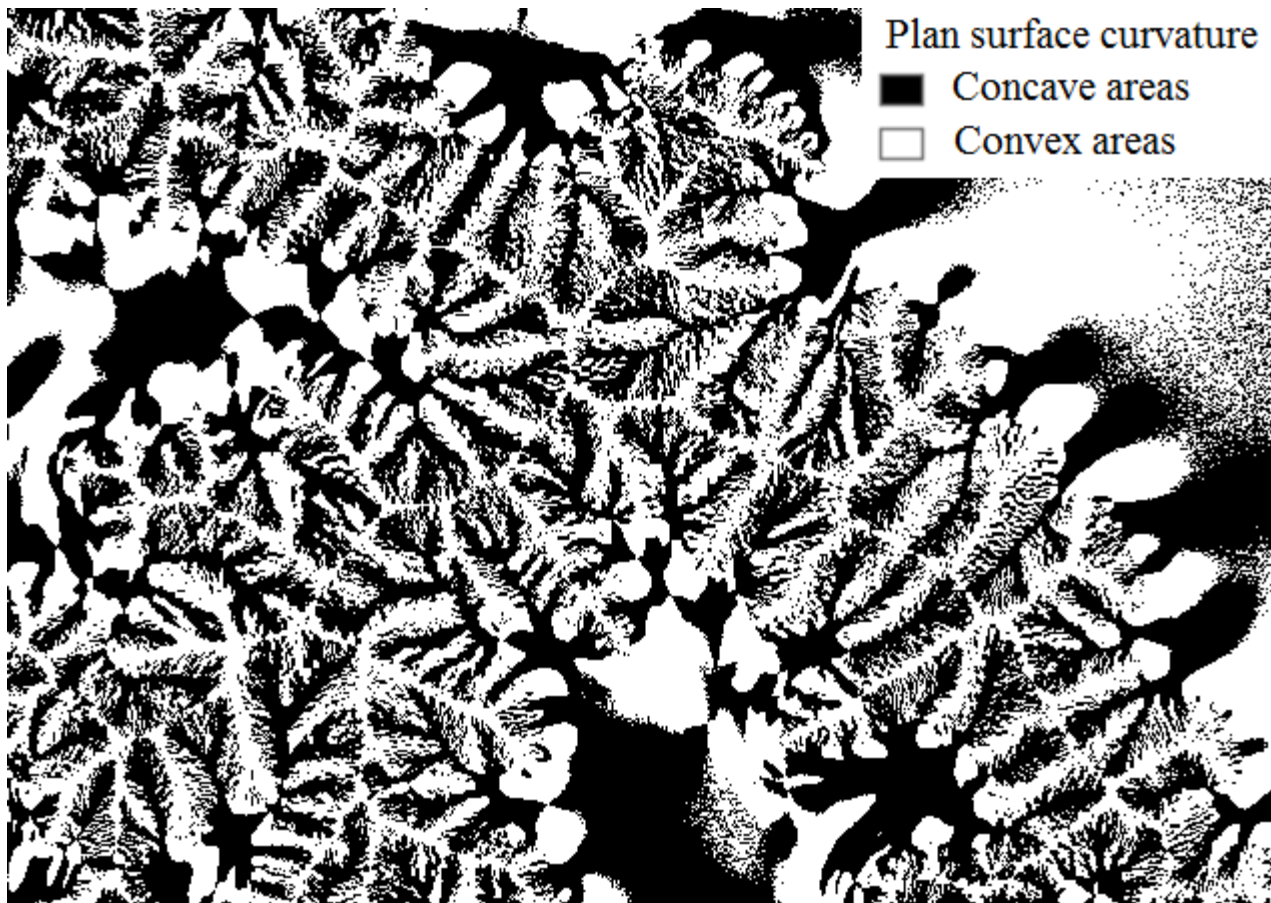


Рис. 11. Фрагмент перекласифікованого растру кривини поверхні.

[Справка ArcGIS (10.2, 10.2.1 и 10.2.2)]. Перекласифікацію виконано з виділенням 2 класів (рис. 11): увігнута поверхня (від’ємні значення – чорний колір) і опукла (додатні – білий колір). Території з додатним значенням кривини характеризують опуклі ділянки – так звані території дивергенції (в нашому випадку – це опуклі пригребеневі ділянки, з яких властиве знесення снігових мас), території з від’ємною кривиною відповідають увігнутим ділянкам – території конвергенції (у нашому дослідженні – це долини та западини, які акумулюють снігові маси) [Свідзінська Д. В., 2014].

На підставі перекласифікованих растрів, з використанням виразів алгебри карт виділено ділянки відносної лавинної небезпеки Боржавського хребта. Для побудови результуючого растрового зображення використано інструмент ArcGIS Raster Calculator. У результаті суми растрів нахилів, кривини та орієнтування схилів і генералізації кількості отриманих класів виділено 4 класи територій в залежності від поєднання величин нахилу та експозиції. Високий ступінь лавинної небезпеки присвоєний схилам з найактивнішим снігонакопиченням та найбільшою величиною нахилу; середній ступінь – відповідно схилам з проміжними експозиціями по відношенню до переважаючого напрямку вітру та середньою величиною нахилу; низький ступінь відповідає схилам, з яких відбувається найактивніше снігоперенесення та схилам з невеликою величиною нахилу). Результуючий растр обрізано вздовж лінії верхньої межі поширення лісу, яка водночас вважається нижньою межею поширення лавинних явищ. На результуючому растрі відносної лавинної небезпеки (рис. 12) червоним кольором показано потенційно найбільш лавинонебезпечні ділянки. Жовтим кольором відображено середній ступінь потенційної лавинної небезпеки, зеленим

– низький ступінь відносно загальної ситуації. Блакитним кольором позначені ділянки, які не є лавинонебезпечними через недостатні для утворення лавин величини нахилів схилів.

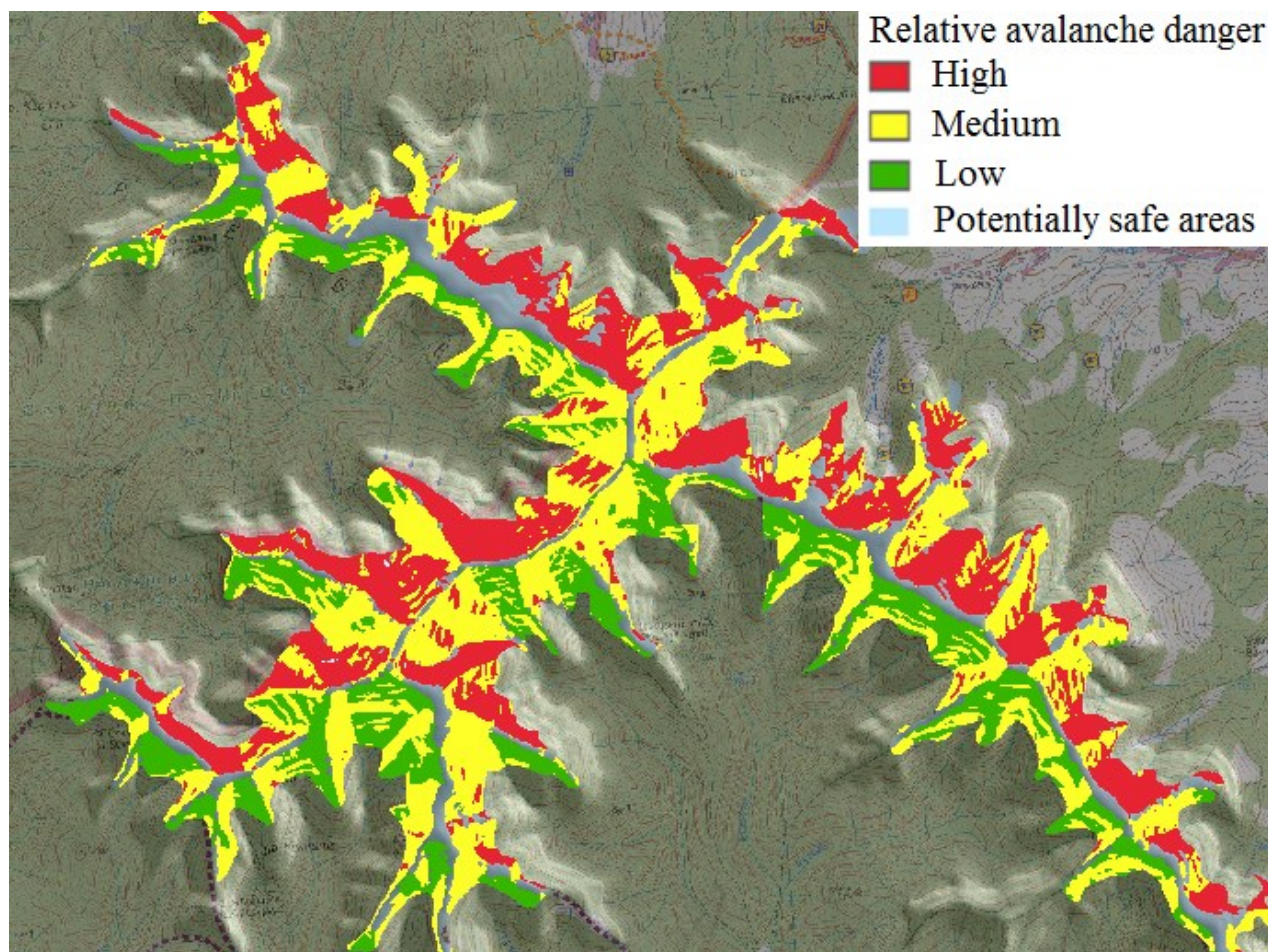


Рис. 12. Результуюча растрова тематична карта відносної лавинної небезпеки.

Загальна площа ділянки хребта вище верхньої межі поширення лісу становить 39,4 км². Площа лавинонебезпечної території становить 33,4 км² (84,8%), з них згідно проведеної класифікації: 10,6 км² (31,7%) – ділянки з високим рівнем лавинної небезпеки; 15,6 км² (46,7%) – ділянки з середнім рівнем лавинної небезпеки; 7,2 км² (21,6%) – ділянки з низьким рівнем лавинної небезпеки. Площа потенційно безпечних ділянок становить 6,0 км², що складає 15,2% від загальної площі хребта вище верхньої межі поширення лісу.

Результати

Створено цифрову модель рельєфу та растрову тематичну карту лавинонебезпечних ділянок хребта Полонина Боржава.

Наукова новизна і практична значущість

Комплексний підхід, який включає інтеграцію картографічного матеріалу, статистичних метеорологічних даних та геоморфометричних даних про поверхню в єдину геоінформаційну систему, дозволяє виділити території постійної дії сніголавинних явищ хребта Полонина Боржава. Для визначення територій з різним ступенем лавинної небезпеки враховано геоморфометричні параметри рельєфу хребта Полонина Боржава. Проведено картографування сніголавинних явищ Боржавського хребта у масштабі 1:50 000. Наявність тематичної карти відносної лавинної небезпеки дозволить фахівцям (лісові господарства, будівельні, туристичні організації, МНС) зосередити увагу на конкретних територіях під час планування діяльності та виникнення

потенційних загроз від сходження снігових лавин. Апробовану технологію можна застосувати для тематичного картографування інших подібних об'єктів.

Висновки

1. На основі аналізу окремих морфометричних показників та повторюваності вітрів на гірському хребті Полонина Боржава отримано растрову тематичну карту лавинонебезпечних територій хребта.

2. Площа лавинонебезпечної території хребта складає 84,8% від загальної площі зони альпійських луків, що підтверджує той факт, що Боржавський хребет є дуже лавинонебезпечним.

3. Тематична карта відносної лавинної небезпеки дозволить фахівцям зосередити увагу на конкретних територіях під час планування діяльності та виникнення потенційних загроз від сходження снігових лавин.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- Баран Я. Декілька слів про лавини в Карпатах. [web-сайт] режим доступу: <http://www.drogmedia.net.ua/index.php/dozvillia/2269>. (Публікація 2015).
- Колотуха О. В. Лавинна небезпека для туристів в горах України. – Київ, Федерація спортивного туризму України, 2008. – 38 с.
- Лавний В. В. Сильні вітри в Українських Карпатах// Науковий вісник НЛТУ України. – 2009. – Вип. 19.14, с. 239-246.
- Мягков С. М., Канаев Л. А. География лавин. – Москва, Издательство МГУ, 1992. – 332 с.
- Свідзінська Д. В. Методи геоекологічних досліджень: геоінформаційний практикум на основі відкритої ГІС SAGA: навчальний посібник / Д. В. Свідзінська. — К.: Логос, 2014. — 402 с.
- Справка ArcGIS (10.2, 10.2.1 и 10.2.2) [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://resources.arcgis.com/ru/help/main/10.2/>
- Тавров Ю. С., Грищенко В. Ф. Сніголавинний режим Українських Карпат. – Київ, Наук. збірник Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. Київ: ВГЛ “Обрії”, – 2011. – Т. 1(22), с. 68-74.
- Тиханович Є. Є., Біланюк В. І. Лавинні процеси в Українських Карпатах// Journal of Education, Health and Sport: 5 (2015) no. 7, pp. 96-104. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://zenodo.org/record/19307>
- Шарый П. А. Геоморфометрия в науках о земле и экологии, обзор методов и приложений. Известия Самарского научного центра Российской академии наук, т. 8, №2, 2006. - с. 458-473. [Електронний ресурс] – Режим доступу: http://www.ssc.smr.ru/media/journals/izvestia/2006/2006_2_458_473.pdf
- A. Covășnianu, I. R. Grigoraș, L. E. State, D. Balin, S. Hogaș, I. Balin Mapping snow avalanche risk using GIS technique and 3D modeling. Case study – Ceahlau National Park. – Romanian Journal of Physics, Vol. 56, Nos. 3–4, P. 476–483, Bucharest, 2011.
- I. M. Simea The avalanche from Rodnei Mountains. PhD Thesis. – Cluj-Napoca, “Babeș-Bolyai” University, 2012. – 30 p.
- Maggioni M., Gruber U. The influence of topographic parameteres on avalanche release dimension and frequency, Cold Region Science and Technology, vol. 37 (2003), pp. 407-419.

Надійшла 01.03.2016 р.