

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу
Інститут архітектури та будівництва (ІФНТУНГ-ДонНАБА)
Кафедра геодезії та землеустрою

Лендел Михайло-Матвій Васильович

(прізвище, ім'я, по батькові)

УДК 551.3:551.435.6(477.87)
(індекс)

БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА

Геоінформаційне картографування та аналіз поширення зсувних процесів на територіях громад у межах Закарпатської області
(назва роботи)

Геодезія та землеустрій

(назва освітньої програми)

193 Геодезія та землеустрій

(шифр і назва спеціальності)

Робота містить результати власних досліджень, використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело:

Здобувач освітнього ступеня _____ Лендел М.-М. В. _____
(підпис, ініціали та прізвище здобувача)

Науковий керівник _____ Чепурний І.В., к.геол.н., доцент _____
(підпис, прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання керівника)

Допущено до захисту
Завідувач кафедри

проф. _____ М. М. Приходько _____
(посада) (підпис) (дата) (ініціали та прізвище)

Івано-Франківськ – 2025

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

(повне найменування закладу вищої освіти)

Інститут архітектури та будівництва (ІФНТУНГ-ДонНАБА)

Кафедра геодезії та землеустрою

Освітній

рівень бакалавр

Спеціальність 193 Геодезія та землеустрій

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ГКЗ

Микола ПРИХОДЬКО

« » 2025 року

**З А В Д А Н Н Я
НА БАКАЛАВРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТОВІ**

Лендел Михайло-Матвій Васильович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Геоінформаційне картографування та аналіз поширення зсувних процесів на територіях громад у межах Закарпатської області

керівник роботи Чепурний Ігор Валерійович, кандидат геол. н., доцент,

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від "06" червня 2025 року № 327/7

2. Строк подання студентом роботи 17.06.2025

3. Вихідні дані до роботи картографічні матеріали, веб-ресурси, літературні джерела, відкриті джерела даних,

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

1. Зсуви, як геодинамічні процеси та умови їх формування; 2. Характеристика природних умов закарпаття у контексті розвитку зсувних процесів; 3. Геоінформаційне тематичне картографування – характеристика. Його роль у моніторингу природних та техногенних небезпек; 4. геоінформаційне картографування та аналіз поширення зсувних процесів на територіях громад у межах Закарпатської області

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

Картограми поширення зсувних процесів Закарпаття, картограми ураженості зсувами територій Закарпаття – адміністративних районів, територіальних громад, діаграми

РЕФЕРАТ

У межах Закарпатської області проведено геоінформаційне картографування зсувної активності з використанням геоінформаційної системи QGIS. Просторовий аналіз дозволив виявити адміністративні райони з підвищеною ураженістю, провести кількісну оцінку ураженості зсувними процесами та створити тематичні картограми для адміністративно-територіальних одиниць одиниць Закарпатської області – адміністративних районів та територіальних громад. Результати можуть бути використані при плануванні розвитку територій громад, в питаннях землеоціночної діяльності , управлінні ризиками та планування протизсувних заходів.

Ключові слова: ЗСУВИ, ГЕОІНФОРМАЦІЙНЕ КАРТОГРАФУВАННЯ, QGIS, ЗАКАРПАТТЯ, ПРОСТОРОВІ ДАНІ, ЦИФРОВА МОДЕЛЬ РЕЛЬЄФУ.

ABSTRACT

Within the territory of Zakarpattia region, geoinformation mapping of landslide activity was carried out using the QGIS geographic information system. Spatial analysis made it possible to identify administrative districts with increased vulnerability, perform a quantitative assessment of landslide-affected areas, and create thematic maps for the administrative-territorial units of Zakarpattia – including districts and territorial communities. The results can be used in community development planning, land valuation activities, risk management, and the planning of anti-landslide measures.

Keywords: LANDSLIDES, GEOINFORMATION MAPPING, QGIS, ZAKARPATTIA, SPATIAL DATA, DIGITAL ELEVATION MODEL.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1. ЗСУВИ, ЯК ГЕОДИНАМІЧНІ ПРОЦЕСИ ТА УМОВИ ЇХ ФОРМУВАННЯ	9
1.1 Загальна характеристика зсувних процесів	9
1.2 Урахування зсувної небезпеки при геодезичних та землепорядних роботах	12
2. ХАРАКТЕРИСТИКА ПРИРОДНИХ УМОВ ЗАКАРПАТТЯ У КОНТЕКСТІ РОЗВИТКУ ЗСУВНИХ ПРОЦЕСІВ	15
2.1 Природні умови	16
2.2 Геологія.....	17
2.3 Інженерно-геологічне районування.....	18
2.4 Геоморфологія	19
3. ГЕОІНФОРМАЦІЙНЕ ТЕМАТИЧНЕ КАРТОГРАФУВАННЯ – ХАРАКТЕРИСТИКА. ЙОГО РОЛЬ У МОНІТОРИНГУ ПРИРОДНИХ ТА ТЕХНОГЕННИХ НЕБЕЗПЕК.....	21
4. ГЕОІНФОРМАЦІЙНЕ КАРТОГРАФУВАННЯ ТА АНАЛІЗ ПОШИРЕННЯ ЗСУВНИХ ПРОЦЕСІВ НА ТЕРИТОРІЯХ ГРОМАД У МЕЖАХ ЗАКАРПАТСЬКОЇ ОБЛАСТІ.....	24
4.1 Адміністративний устрій Закарпатської області.....	24
4.2 Поширення зсувів	26
4.3 Картограми поширення зсувів у розрізах районів та територіальних громад.....	29
4.4 Побудова діаграм та теплової карти.....	40
4.5 Оцінка зсувонебезпечних територій.....	44
ВИСНОВКИ.....	50
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ НА ДЖЕРЕЛА	52

ВСТУП

Зсувні процеси є однією з найпоширеніших форм геодинамічної активності, яка щороку завдає значних збитків інфраструктурі, сільському господарству та навколишньому середовищу. Особливої актуальності ця проблема набуває в умовах кліматичних змін, збільшення кількості інтенсивних опадів та посилення антропогенного навантаження на ландшафти. Закарпатська область є однією з найбільш ураженими зсувами територій України, що обумовлює необхідність постійного моніторингу та впровадження сучасних методів аналізу та прогнозування зсувної небезпеки.

Обґрунтування вибору теми дослідження. Геоінформаційні технології, зокрема використання ГІС-платформи QGIS, супутникових знімків і цифрових моделей рельєфу, відкривають нові можливості для просторового аналізу, виявлення зсувонебезпечних ділянок і картографування зон зсувної активності.

Мета дослідження — проведення тематичного геоінформаційного картографування на основі просторового аналізу зсувних процесів із використанням геоінформаційної системи QGIS для території Закарпатської області.

Завдання дослідження:

- Здійснити просторовий аналіз зсувної активності в межах Закарпатської області;
- Побудувати тематичні карти розподілу зсувів за адміністративними районами та територіальними громадами;
- Виконати кількісну оцінку ураженості зсувами територій адміністративно-територіальних одиниць.

Об'єкт дослідження — зсувні процеси на території Закарпатської області.

Предмет дослідження — геоінформаційні методи аналізу та картографування.

Методи дослідження включають:

- геоінформаційний аналіз у середовищі QGIS;

- візуалізація одержаних результатів у вигляді картограм та діаграм.

Практичне значення. Результати дослідження можуть бути використані органами місцевого самоврядування, екологічними службами та управліннями з надзвичайних ситуацій для планування протизсувних заходів, створення систем раннього попередження, обґрунтування забудови територій, а також для підвищення рівня поінформованості населення щодо зсувної небезпеки.

1. ЗСУВИ, ЯК ГЕОДИНАМІЧНІ ПРОЦЕСИ ТА УМОВИ ЇХ ФОРМУВАННЯ

1.1 Загальна характеристика зсувних процесів

Зсуви належать до найбільш різноманітних форм схилових гравітаційних процесів за типами, чинниками формування, механізмами розвитку та масштабами поширення. Під зсувами розуміють переміщення мас гірських порід по схилах, що відбуваються переважно шляхом ковзання по існуючій або новоутвореній площині чи зоні ковзання, коли зсувні сили перевищують опірність порід. Зсуви характеризуються різноманітною морфологією, внутрішньою структурою та динамікою, що обумовлено широким спектром чинників їхнього виникнення. Схематичне зображення будови зсуву наведено на рисунку 1.1 [11].

Морфологічні особливості зсувного схилу залежать від складу порід, їх просторового розташування та інших умов, що визначають механізм і перебіг зсувного процесу. У процесі дослідження зсувів виділяють основні структурні елементи: а) поверхню ковзання; б) підшву зсуву (базис сповзання); в) глибину охоплення зсувом; г) зсувні цирки; д) тіло зсуву; е) зсувні накопичення.

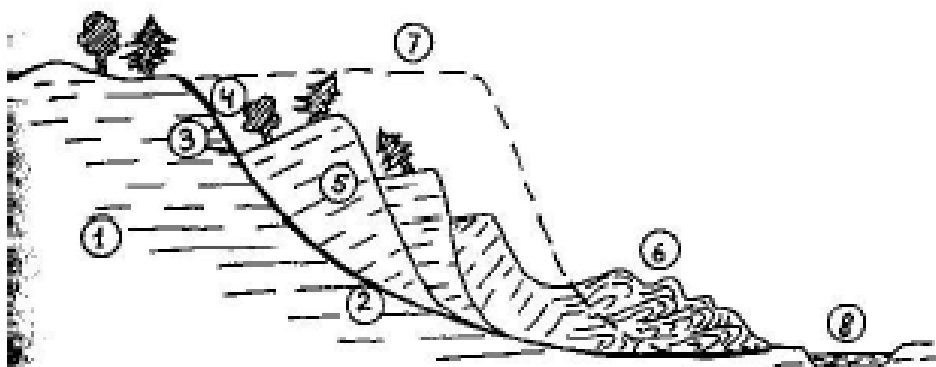


Рисунок 1.1 - Схема будови зсуву

1- корінні породи непорушеного схилу , 2 - поверхня ковзання, 3 - тиловий шов, 4 - надзсувний виступ , 5 – зсувне тіло, 6 - бугор пучення, 7 - первинне положення схилу, 8 – ріка

Поверхня зсуву — це площина, по якій відбувається відділення й переміщення масиву гірських порід, що сповзає вниз по схилу. Її форма визначається геологічною будовою місцевості та фізико-механічними властивостями порід. У гомогенних глинистих породах ця поверхня зазвичай має плавну вигнуту конфігурацію, тоді як в інших геологічних умовах вона може бути хвилястою, ламаною чи майже горизонтальною. Іноді ознакою поверхні зсуву слугує дзеркало ковзання, проте це не є обов'язковим. В окремих випадках зміщення відбувається не по чітко вираженій площині, а охоплює зону значної товщини з характерними ознаками пластичних деформацій і структурними порушеннями [11].

Підосва зсуву (або базис сповзання) — це лінія, що позначає місце перетину площини ковзання з поверхнею схилу. Вона може розташовуватися як у його основі, так і вище або нижче — у такому разі іноді формується вал випирання. На одному схилі може одночасно існувати кілька зсувів із різними підосвами, які утворюють багатоярусні або ступінчасті зсуви.

Глибина зсуву (глибина охоплення) — це перпендикулярна відстань між верхньою частиною зсувного тіла та площиною ковзання. Визначається після встановлення просторової конфігурації поверхні зсуву.

Зсувний цирк — це виїмка, що виникає на схилі внаслідок переміщення частини порід. Лінія відриву має дугоподібну форму і називається бровкою зсуву або лінією зсуву.

Зсувне тіло — це об'єм мас гірських порід, який зазнав переміщення внаслідок зсувного процесу.

Основні морфологічні та структурні ознаки зсувних процесів включають [12]:

1. Зсувні тріщини — з'являються на початкових етапах зсуву як невеликі розриви, які з часом розширюються, подовжуються й утворюють суцільну лінію розриву.

2. Зсувні цирки — характерні виїмки у верхній частині зсуву.

3. Площини зриву — місця відділення зсувного тіла від незрушених порід.
4. Вали випирання — формуються при тиску верхніх частин зсувного тіла на підстилаючі породи.
5. Зсувні уступи — східцеподібні елементи, нахилені у бік схилу; при складній будові формують кілька рівнів.
6. Накопичення вологи, заболочення, поява вологолюбної рослинності у знижених ділянках.
7. “П’яний ліс” — деревостани з викривленими стовбурами, зумовлені переміщенням ґрунтової основи.
8. Збугреність поверхні — результат ерозійного перетворення зсувних уступів.
9. Розбіжність стратиграфічних рівнів і зміна кута нахилу пластів, виявлена у відслоненнях або свердловинах.
10. Підвищена вологість порід і порушення їхньої структури в зоні зсуву.
11. Деформації інженерних споруд, що проявляються у тріщинах, осіданні або розломах будівель, доріг, дренажів тощо.

Зазначені ознаки проявляються в різних поєднаннях залежно від типу й фази розвитку зсуву.

Утворення зсуву — результат дії гравітаційного механізму, який призводить до вертикального й горизонтального переміщення нестійких мас гірських порід. Вони трансформують схили, формуючи характерний зсувний рельєф, змінюючи геоморфологічні та геологічні умови місцевості.

Зсуви виникають у різних геологічних умовах внаслідок порушення рівноваги масивів порід і зниження їх міцності. Причини поділяють на природні (наприклад, ерозія, сейсмічні поштовхи, крутість схилів) та антропогенні (дорожні виїмки, надмірне вилучення ґрунтів, вирубування лісів тощо). За даними міжнародної статистики, до 80% сучасних зсувів мають антропогенне походження [12].

Наслідки зсувів можуть бути катастрофічними. Вони призводять до руйнування будівель, доріг і мостів, можуть блокувати річки, спричинюючи утворення тимчасових озер, прорив яких загрожує ще більшою шкодою. Часто зсуви супроводжуються загибеллю людей, необхідністю евакуації, а також екологічними наслідками, як наприклад ерозія ґрунтів і знищення рослинного покриву.

Причини виникнення зсувів бувають природними та антропогенними. До природних належать інтенсивні дощі, які насичують ґрунт водою, землетруси, що руйнують структуру порід, вивітрювання, яке послаблює матеріал, та річкова ерозія, яка підмиває схили. Людська діяльність також може провокувати зсуви, зокрема будівництво на схилах, вирубка лісів (деревина стабілізує ґрунт коренями), неправильне водокористування (надмірне зрошення або осушення) та вибухові роботи в гірничій промисловості [12].

1.2 Урахування зсувної небезпеки при геодезичних та землевпорядних роботах

Урахування розвитку небезпечних геологічних процесів слід враховувати при плануванні освоєння територій та на етапах вишукувальних робіт при будівництві будівель, споруд та інфраструктурних об'єктів. Про це свідчить розроблений окремі Державні будівельні норми «ДБН В.1.1-46:2017 Інженерний захист територій, будівель споруд від зсувів та обвалів. Основні положення» [6]. У цих нормах зазначено, що матеріали інженерних вишукувань (інженерно-геодезичних, інженерно-геологічних, інженерно-гідрометеорологічних) для проектування споруд інженерного захисту та заходів інженерного захисту повинні достовірно відображати реальну та потенційну небезпеку розвитку зсувних та обвальних процесів і включати дані, повнота та якість яких достатня для прийняття технічних рішень на відповідних стадіях проектування об'єктів інженерного захисту [6].

У матеріалах інженерних вишукувань та досліджень, що стосуються конкретної ділянки схилу, надається така інформація [6]:

- Просторове розташування схилу в межах населеного пункту, його взаємозв'язок з основними функціональними зонами (житловою, промисловою, комунально-складською, транспортною тощо) у поточному стані та з урахуванням перспектив розвитку згідно з генеральним планом.

- Наявність об'єктів інженерного захисту на схилі або поблизу прибрівкової зони плато, включаючи їхню інженерну характеристику, функціональне призначення, технічний стан, а також економічну й культурну цінність.

- Геоморфологічні характеристики схилу, такі як конфігурація, експозиція, геометричні параметри (висота, крутизна, наявність терас), а також тектонічні особливості.

- Історія господарського освоєння схилу, яка повинна відображати усі типи діяльності, що здійснювались у минулому: земляні, будівельні, гірничі, розвідувальні, геологічні, археологічні роботи як на самому схилі, так і на прилеглих територіях.

- Відомості про можливе шахтне підроблення схилів в межах зон впливу підземних виробок різного типу згідно з положеннями ДБН В.1.1-46:2017.

- Характеристика ґрунтово-рослинного покриву, зокрема його поточний стан, зміни у минулому, а також типи та стан деревної рослинності на момент проведення вишукувань.

У склад інженерно-геодезичних досліджень мають бути включені такі дані [6]:

- Інформація щодо застосованої геодезичної опорної мережі.
- Топографічні плани зсувних (обвальних) ділянок і прилеглих територій.

- Поперечні профілі схилів (у невикривленому масштабі), що охоплюють зсувні й обвальні ділянки.

- Матеріали топографічних знімачь попередніх періодів, які дають змогу оцінити зміни рельєфу в зсувній зоні за час проведення минулих вишукувань, а також результати стаціонарних спостережень.
- Архівні джерела, що ілюструють зміни форми рельєфу упродовж історичного періоду — як до, так і після утворення зсувів чи обвалів.
- Для зсувонебезпечних територій — графіки динаміки зсувних зміщень у часі, побудовані за основними поперечними профілями.

При економіко-планувальному зонуванні території населених пунктів, при формуванні оціночних районів, а також при нормативній грошовій оцінці земельних ділянок враховується наявність інженерно-геологічних факторів, до яких відноситься наявність зсувних процесів [9]. Розрахунок вартості 1 кв.м земельної ділянки з урахуванням впливу локальних факторів:

$$C_{пл} = C_{нз} K_{мз} \quad (1)$$

де $K_{мз}$ - коефіцієнт, який характеризує залежність рентного доходу від особливостей місця розташування земельної ділянки в межах економіко-планувальної зони - вплив локальних чинників; $C_{нз}$ - середня для економіко-планувальної зони вартість 1 кв.м земель.

Групи локальних факторів: територіально-планувальні, інженерно-геологічні, історико-культурні, природно-ландшафтні, санітарно-гігієнічні, інженерно-інфраструктурні.

Значення коефіцієнта $K_{мз}$ визначається щодо кожного населеного пункту, виходячи з його особливостей. При встановленні значення локального коефіцієнта для окремої земельної ділянки можливо встановлювати його значення на основі визначення частки площі, яку займає цей фактор на земельній ділянці. Установлення частки площі здійснюється з використанням ГІС-технологій та електронних цифрових карт масштабу, не меншого, ніж 1:10000,- для міст з чисельністю населення понад 100 тис. чол. та 1:5000- для інших населених пунктів [9].

2. ХАРАКТЕРИСТИКА ПРИРОДНИХ УМОВ ЗАКАРПАТТЯ У КОНТЕКСТІ РОЗВИТКУ ЗСУВНИХ ПРОЦЕСІВ

Закарпаття є регіоном із високою сейсмічною активністю та інтенсивними зсувними процесами, що зумовлено його геологічною будовою, кліматичними особливостями, рельєфом та антропогенним впливом [5].

Геологічна будова та тектоніка цієї області відіграють ключову роль у формуванні зсувів. Закарпаття розташоване в Карпатському гірському поясі, де переважають флішеві та мергельні породи, такі як глини, пісковики та вапняки, які легко піддаються розмиву та руху. Активні тектонічні процеси, пов'язані зі зіткненням Євразійської та Адріатичної плит, призводять до утворення розломів і тріщин, що послаблює міцність гірських масивів. Крім того, регіон характеризується високою сейсмічністю – тут можливі землетруси силою до 7–8 балів за шкалою Ріхтера, що значно підвищує ризик зсувів [12].

Рельєф Закарпаття також сприяє розвитку зсувних явищ. Гірська місцевість з висотами до 1500–2000 метрів має круті схили (30–50°), які є нестабільними. Густа річкова мережа, включаючи такі річки, як Тиса, Латориця, Уж та Боржава, активно розмиває основи схилів, що призводить до їхньої дестабілізації. Додатковим чинником є наявність яружно-балкової системи, яка сприяє дрібним зсувам та ерозійним процесам.

Кліматичні умови Закарпаття значно посилюють зсувну небезпеку. Регіон отримує велику кількість опадів – від 800 до 1400 мм на рік, а в гірських районах цей показник може сягати 2000 мм. Висока вологість призводить до насичення ґрунтів водою, що збільшує їхню рухливість. Часті зливи та паводки викликають миттєві зсуви, зокрема дебрисні потоки. Взимку сніговий покрив у горах, а потім його швидке танення навесні також активізують зсувні процеси [7].

Ґрунтовий покрив і рослинність також впливають на стабільність схилів. У Закарпатті переважають бурі гірсько-лісові ґрунти, які при сильному зволоженні стають менш стійкими. Вирубання лісів, особливо на схилах, знижує природне

укріплення ґрунтів, оскільки кореневі системи дерев більше не утримують ґрунтові маси [5].

Значний вплив на активізацію зсувів має і господарська діяльність людини. Будівництво доріг, гірничі виробки та забудова на схилах порушують природний баланс. Нераціональне землеробство, таке як використання крутосхилів під посіви, посилює ерозійні процеси [7].

Таким чином, Закарпаття є регіоном із високим ризиком зсувів через поєднання геологічно нестійких порід, активної тектоніки, вологих кліматичних умов, крутого рельєфу та антропогенного впливу. Для запобігання катастрофічним наслідкам необхідні комплексні протизсувні заходи, такі як укріплення схилів, облаштування дренажних систем, відновлення лісів та обмеження господарської діяльності в небезпечних зонах.

2.1 Природні умови

Природні умови Закарпаття формуються під впливом його географічного розташування, рельєфу, клімату, геологічної будови та гідрографічної мережі. Область охоплює частину Східних Карпат і Закарпатської низовини, що зумовлює значну різноманітність ландшафтів. У гірській частині переважає флішева геологічна структура, яка представлена чергуванням глинистих сланців, пісковиків, мергелів та інших нестійких до зволоження порід. Саме такі породи є схильними до зсувоутворення через здатність розмокати і втратити міцність при надлишковому зволоженні.

Рельєф Закарпаття здебільшого гірський, з різкою висотною розчленованістю та крутими схилами, які у багатьох місцях перевищують 25–30°, а іноді сягають і більше. Такі умови є природною передумовою для нестабільності ґрунтів і утворення зсувів [14]. Закарпатська низовина має більш спокійний рельєф, проте і тут можливі зсувні явища на терасах річкових долин.

Клімат регіону помірно континентальний із достатньо високим рівнем опадів, особливо в гірських районах, де кількість опадів перевищує 1000 мм на

рік. Найінтенсивніші дощі припадають на весну та осінь, що призводить до надмірного зволоження ґрунтів і активізації зсувних процесів. Значну роль відіграє також сніготанення, яке на фоні замерзлого ґрунту може спричинити різке насичення верхніх шарів водою [12].

Гідрографічна мережа Закарпаття включає густу сітку річок і струмків, серед яких найважливішими є Тиса, Латориця, Уж, Боржава, Терєбля. Річки активно підмивають підніжжя схилів, що викликає їх додаткове послаблення і є причиною численних зсувів. Підвищення рівня ґрунтових вод і їхній тиск на схили створюють додаткові умови для розвитку зсувних процесів.

Таким чином, природні умови Закарпаття — складна геологічна структура, гірський рельєф, висока зволоженість, густа річкова мережа — є комплексом факторів, які постійно підтримують ризик розвитку зсувів. У сукупності з людською діяльністю ці фактори створюють постійну зсувонебезпеку в багатьох районах області.

2.2 Геологія

Геологічна будова Закарпаття є одним із ключових чинників, що визначають зсувонебезпеку регіону. Територія області охоплює частину Східних Карпат і Закарпатської западини, кожна з яких має свої геологічні особливості. У гірській частині, зокрема в межах Вододільно-Верховинських та Полонинсько-Чорногірських хребтів, широко розповсюджені флішеві породи. Фліш представляє собою чергування шарів глинистих сланців, пісковиків, алевролітів та мергелів. Такі породи є водонасичуваними, нестійкими до дії атмосферних опадів та мають здатність розмокати, що при перевищенні критичного рівня вологи призводить до їх дестабілізації і руху по схилу [13].

Флішеві товщі, як правило, мають тріщинувату структуру, що полегшує проникнення води вглиб масиву. Це знижує зчеплення між окремими шарами і створює умови для ковзання. Саме такі геологічні умови сприяють виникненню зсувів, особливо на крутих схилах та в районах із значною глибою гірських порід.

Особливо вразливими є ділянки, де сланці чергуються з пісковиками: при зволоженні глинисті породи втрачають міцність, а більш тверді породи над ними починають зсуватися вниз [13].

У межах Закарпатської низовини переважають молодші відклади — алювіальні, делювіальні та лесовидні породи, які також можуть бути зсувонебезпечними, особливо на схилах терас річкових долин. В окремих місцях зустрічаються також вулканічні породи (андезити, туфи), які за сприятливих умов можуть бути більш стійкими до зсувів, проте за надмірної зволоженості та ерозії й вони можуть втрачати стабільність.

Таким чином, геологічна будова Закарпаття формує сприятливі умови для розвитку зсувних процесів. Найбільшу небезпеку становлять глинисті та флішеві породи, що втратили стійкість під впливом вологи та гравітаційних сил. Поєднання флішевої структури, тріщинуватості, гідронасиченості й крутих схилів робить значну частину території області потенційно нестабільною.

2.3 Інженерно-геологічне районування

Інженерно-геологічне районування Закарпатської області — це поділ території за ступенем інженерно-геологічної складності умов, з урахуванням геологічної будови, рельєфу, гідрологічних особливостей, ґрунтового покриву та рівня розвитку небезпечних геодинамічних процесів, зокрема зсувів. Таке районування є основою для планування забудови, господарської діяльності та протизсувного захисту територій.

Територію Закарпаття умовно поділяють на три основні інженерно-геологічні райони: гірський (Карпатський), передгірський (схили та тераси) і низовинний (Закарпатська рівнина) [13].

Гірський район охоплює Вододільно-Верховинські, Полонинські та Чорногірські хребти. Він характеризується складною флішевою геологічною будовою, крутими схилами, активною ерозією, інтенсивною тріщинуватістю порід та значним зволоженням. Саме тут зосереджена найбільша кількість зсувонебезпечних ділянок. У районі спостерігаються як повільні зсуви, так і

раптові, швидкі переміщення ґрунтових мас, особливо після тривалих опадів чи весняного танення снігу.

Передгірський район представлений схилами південного макросхилу Карпат і територіями на межі переходу до рівнинної частини. Тут переважають делювіальні й алювіально-делювіальні відклади, що формуються шляхом накопичення продуктів змиву з гір. На таких ділянках часто виникають ґрунтові зсуви, особливо при наявності антропогенних навантажень, як-от вирубка лісу, будівництво доріг або житла. Цей район також має високу ступінь зсувонебезпеки.

Низовинний район охоплює Закарпатську рівнину та заплави річок. У геологічному розрізі тут переважають алювіальні породи, лесовидні суглинки та супіски. Хоча територія менш схильна до розвитку класичних гірських зсувів, однак на терасових схилах річок можливе формування повільних пластичних деформацій, осідань та локальних зсувів, особливо при піднятті рівня ґрунтових вод або втручанні у природну дренажну систему.

Таким чином, інженерно-геологічне районування Закарпаття дозволяє виділити території з підвищеною зсувонебезпекою (переважно в гірських і передгірських районах) і з відносно стабільними умовами (низовина), що має вирішальне значення для безпечного освоєння територій, проектування будівель і споруд, а також для організації протизсувних заходів.

2.4 Геоморфологія

Геоморфологія Закарпатської області характеризується значною різноманітністю рельєфу, що зумовлена її положенням між гірською системою Східних Карпат і Закарпатською низовиною. Така морфоструктурна неоднорідність створює умови для інтенсивного розвитку небезпечних геодинамічних процесів, зокрема зсувів, обвалів та ерозії [12].

Гірська частина області включає Вододільно-Верховинські, Полонинські, Чорногірські, Горганські та Мармароські хребти, які формують складний та

сильно розчленований рельєф. Для цієї частини характерні круті схили, вузькі долини річок, глибокі яри та ущелини. Схили гір часто мають ухили понад 25–30°, що значно підвищує ризик їх нестабільності. Більшість гірських масивів складені слабкостійкими до ерозії флішевіми породами, які при зволоженні легко розмиваються та зміщуються вниз по схилу. Це є однією з основних причин розвитку масштабних зсувів у гірських районах, особливо після сильних опадів або при таненні снігу [12].

Передгірські області формують делювіальні та пролювіальні схили, тераси, лавові уступи та акумулятивно-ерозійні форми. Тут поширені зсуви середньої глибини, які часто активізуються внаслідок людської діяльності (будівництво, розчищення схилів, вирубка лісів). Рельєф цих зон є складним, із численними виступами та ослабленими зонами, де зберігається ризик повторного активування давніх зсувів.

Закарпатська низовина, яка займає південно-західну частину області, характеризується відносно плоским або слабохвилястим рельєфом з річковими терасами, заплавами та невисокими горбами. Тут менше умов для формування класичних зсувів, проте можливі локальні осідання, просідання, а також повільні деформації ґрунтів на крутіших терасах або в зонах переущільнення. Активну роль у формуванні рельєфу відіграють річки (Тиса, Латориця, Уж та інші), які сприяють розмиву берегів і формуванню нових акумулятивних форм.

Загалом геоморфологічна структура Закарпаття є важливим чинником, що безпосередньо впливає на розвиток зсувних процесів. Різка розчленованість рельєфу, наявність крутих схилів, геологічна нестійкість порід і потужна гідромережа створюють постійний тиск на геосистему, яка перебуває у динамічному стані рівноваги. У результаті Закарпаття належить до одного з найбільш зсувонебезпечних регіонів України.

3. ГЕОІНФОРМАЦІЙНЕ ТЕМАТИЧНЕ КАРТОГРАФУВАННЯ – ХАРАКТЕРИСТИКА. ЙОГО РОЛЬ У МОНІТОРИНГУ ПРИРОДНИХ ТА ТЕХНОГЕННИХ НЕБЕЗПЕК

Геоінформаційне тематичне картографування — це сучасний напрям у географічних дослідженнях, який передбачає створення карт з використанням геоінформаційних систем (ГІС) для відображення просторового розподілу та аналізу конкретних природних або соціально-економічних явищ. Такий підхід дозволяє ефективно поєднувати картографічну візуалізацію з базами даних, що відкриває широкі можливості для аналізу, моделювання і прогнозування [1, 2].

У контексті зсувних процесів геоінформаційне тематичне картографування є особливо важливим, оскільки дозволяє враховувати одночасно багато чинників, які впливають на їх формування — геологічні, геоморфологічні, кліматичні, гідрологічні, землекористування тощо. Основними завданнями такого картографування є: виявлення зон потенційної небезпеки, аналіз динаміки зсувів, моделювання ризиків, прогнозування нових проявів і прийняття рішень щодо протизсувних заходів [12].

При створенні тематичних ГІС-карт використовуються різні джерела інформації: топографічні й геологічні карти, супутникові знімки, аерофотознімання, дані дистанційного зондування, польові обстеження, цифрові моделі рельєфу. На їх основі формуються шари просторових даних — геологічна структура, крутизна схилів, тип ґрунтів, форма рельєфу, гідрологічні особливості, розташування існуючих зсувів тощо. Комбінуючи ці шари, дослідник може виявити найнебезпечніші ділянки, де є висока ймовірність активізації зсувів [12].

Важливою перевагою геоінформаційного картографування є його динамічність і оновлюваність: зміни в даних (наприклад, нові зсуви або зміни землекористування) легко вносити в систему, що забезпечує актуальність карт [4, 10]. Крім того, ГІС дозволяє проводити кількісний аналіз — розраховувати

площу небезпечних територій, будувати профілі схилів, визначати статистичні закономірності розподілу зсувів тощо.

Таким чином, геоінформаційне тематичне картографування є потужним інструментом для моніторингу зсувних процесів, просторового аналізу ризиків і прийняття обґрунтованих управлінських рішень щодо територій, що піддаються впливу небезпечних природних явищ. У контексті Закарпаття, з його складними природними умовами та високою зсувонебезпекою, воно має вирішальне значення для зменшення збитків і збереження життєво важливої інфраструктури.

Геоінформаційне тематичне картографування відіграє ключову роль у моніторингу природних та техногенних небезпек, особливо в умовах складного рельєфу та високої зсувонебезпеки, як у Закарпатській області. Завдяки використанню геоінформаційних систем можливо не лише створювати точні карти, але й динамічно відстежувати зміни в природному середовищі, виявляти осередки небезпеки та прогнозувати ризики на основі великого обсягу просторових даних [12].

У сфері природних небезпек, таких як зсуви, повені, ерозійні процеси, підтоплення або снігові лавини, геоінформаційне картографування дозволяє аналізувати просторовий розподіл загроз, поєднуючи різноманітні фактори, серед яких геологічна будова, ухили, ґрунтовий покрив, кліматичні умови та водний режим. На основі цих даних створюються карти ризику, що дають змогу виявити території з найбільшою ймовірністю виникнення небезпечних процесів. Окрім того, здійснюється моніторинг динаміки змін, наприклад, повторна активація старих зсувів або формування нових небезпечних ділянок після сильних опадів чи землетрусів. Важливим є і використання супутникових даних та дистанційного зондування для фіксації змін у рельєфі, рослинності та зволоженні територій.

Геоінформаційне тематичне картографування сприяє створенню єдиної інтегрованої системи моніторингу, яка дозволяє не лише своєчасно реагувати на загрози, а й формувати базу даних про небезпечні явища та будувати довгострокові стратегії захисту територій. Такий підхід особливо важливий для

Закарпаття, де природні ризики часто посилюються внаслідок антропогенних факторів, таких як вирубка лісів, хаотична забудова схилів та порушення природного дренажу. У підсумку, роль геоінформаційного картографування в моніторингу природних і техногенних небезпек є незамінною, адже воно забезпечує науково обґрунтовану, візуально доступну та оперативну основу для оцінки ризиків, прийняття ефективних управлінських рішень і зниження втрат у разі виникнення надзвичайних ситуацій [12].

4. ГЕОІНФОРМАЦІЙНЕ КАРТОГРАФУВАННЯ ТА АНАЛІЗ ПОШИРЕННЯ ЗСУВНИХ ПРОЦЕСІВ НА ТЕРИТОРІЯХ ГРОМАД У МЕЖАХ ЗАКАРПАТСЬКОЇ ОБЛАСТІ

Закарпатська область, розташована в Карпатському гірському регіоні, є однією з найбільш зсувонебезпечних територій України. Близько 40% її площі схильні до зсувоутворення, що створює серйозні виклики для місцевих громад та інфраструктури. Сучасні методи геоінформаційного аналізу дозволяють ефективно вивчати та прогнозувати ці небезпечні явища.

4.1 Адміністративний устрій Закарпатської області

Закарпатська область, розташована на південно-західних кордонах України, має унікальний адміністративно-територіальний поділ, сформований під впливом багатовікової історії та особливого геополітичного положення. Цей мальовничий карпатський край межує з чотирма європейськими державами – Польщею, Словаччиною, Угорщиною та Румунією, що значною мірою визначає його адміністративну структуру та напрями розвитку [5,7].

Сучасний адміністративний поділ області включає шість районів, серед яких Берегівський, Мукачівський, Рахівський, Тячівський, Ужгородський та Хустський. Адміністративним центром регіону є місто Ужгород – важливий культурний, освітній та транспортний вузол. Крім нього, статус міст обласного значення мають тринадцять населених пунктів, включаючи такі значні центри як Мукачево, Хуст, Берегово, Виноградів, Чоп та інші [7]. На рис. 4.1 та 4.2 наведено адміністративно-територіальний поділ Закарпатської області.

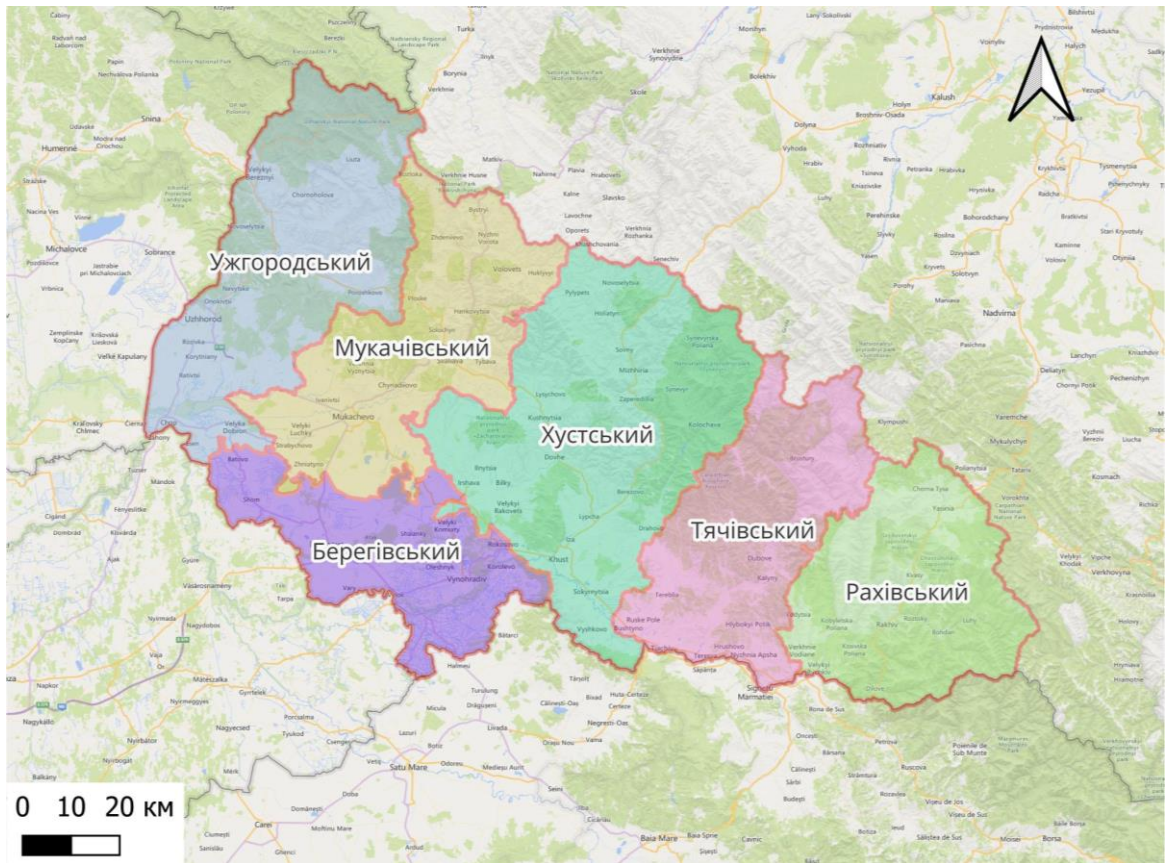


Рисунок 4.1 – Адміністративні райони Закарпатської області

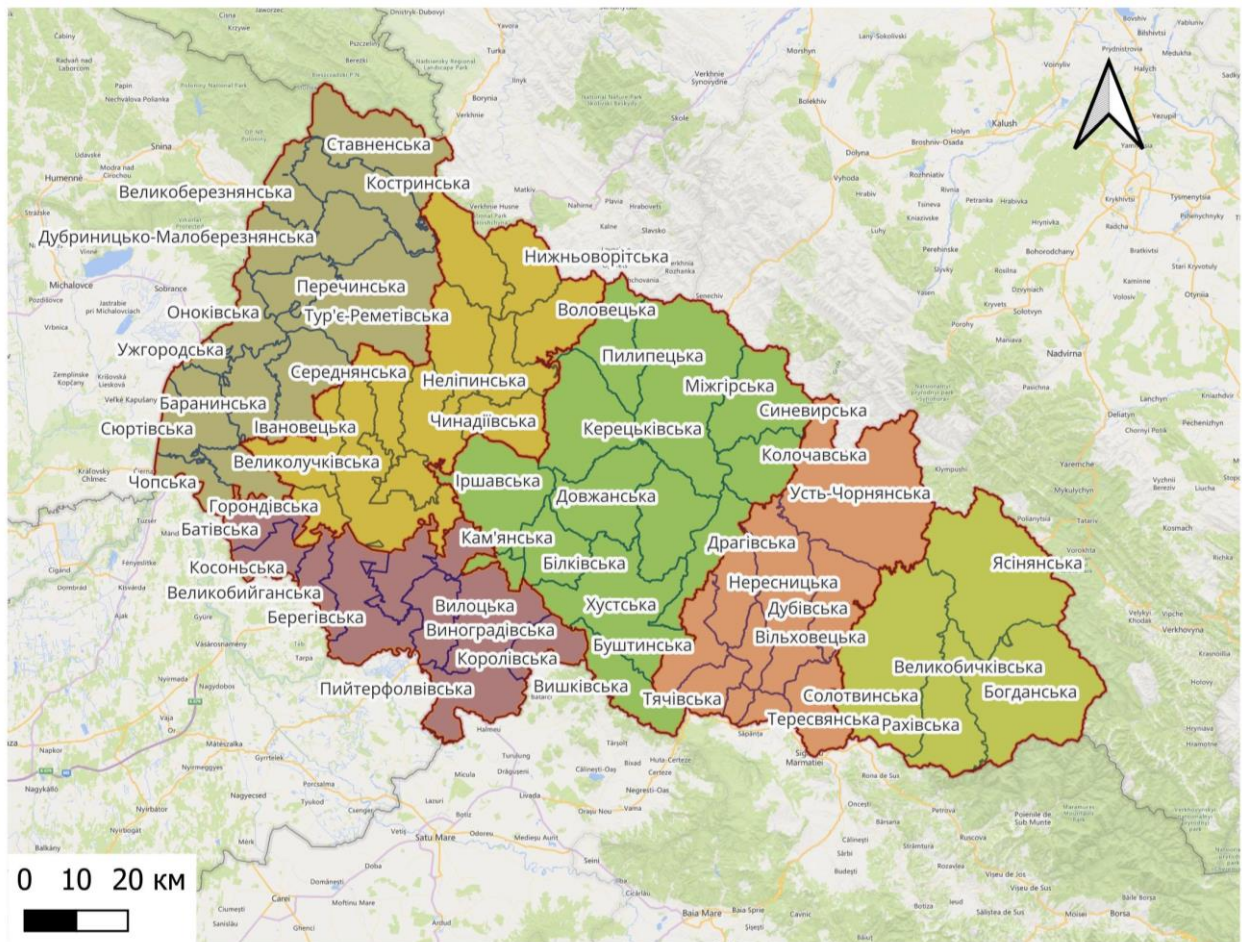


Рисунок 4.2 – Територіальні громади Закарпатської області

Особливістю регіону є наявність семи міст районного значення, двадцяти одного селища міського типу та майже шестисот сільських населених пунктів, розкиданих по мальовничих карпатських долинах і схилах. Процес децентралізації останніх років призвів до утворення шістдесяти чотирьох територіальних громад, які об'єднали міські, селищні та сільські ради, що значно зміцнило місцеве самоврядування.

4.2 Поширення зсувів

Закарпатська область є одним із найбільш зсувонебезпечних регіонів України, де близько 40% території схильні до зсувоутворення. Ці природні явища мають чітку географічну прив'язку та розподіляються нерівномірно по території області. Найактивніше зсуви проявляються у гірській місцевості, особливо в Рахівському, Тячівському та Хустському районах, де переважають круті схили з кутом нахилу 25-45 градусів [1].

У екологічному паспорті Закарпатської області [7] наведено таблицю, яка характеризує поширеність небезпечних екзогенних геологічних процесів (за останні 5 років).

Таблиця 4.1 - Поширеність небезпечних екзогенних геологічних процесів (за останні 5 років)

Рік	Підтоплення		Карст				Зсуви				
	площа, тис. км ²	% від площі території регіону	площа поширення порід, здатних до карстування, Тис.км ²	%	к-ть карстопроявів, од.	загальна кількість, од.	площа, тис. км ²	%	к-ть активних, од.	площа активних, км ²	%
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2019	-	-	-	-	-	3292	385,238093	-	6	0,030096	0,004
2020	-	-	-	-	-	3297	385,802794	-	21	0,592841	0,004
2021	12,8	0,00001	9,55	0,075	25	3305	385,886677	3,015	29	0,486329	0,004
2022	12,8	0,00001	9,55	0,075	25	3305	385,886677	3,015	29	0,486329	0,004
2023	12,8	0,00001	0,271046	-	13	29	0,486329	-	21	0,402446	-

Як випливає з таблиці у 2023 році кількість активних зсувів становила 21 одиницю.

У ДБН В.1.1-46:2017 Інженерний захист територій, будівель споруд від зсувів та обвалів [3] наведено таблицю, яка характеризує поширення зсувних процесів за областями України.

Таблиця 4.2 - Характеристика поширення зсувів на території України

Ч.ч.	Назва адміністративної одиниці	Кількість зсувів			Кількість об'єктів господарської діяльності у зоні зсувів	Площа зсувів	
		загальна	активних	на забудованій території		загальна, км ²	активних, км ²
1	АР Крим	1589	113	598	905	58,44	7,2800
2	Вінницька	339	-	17	23	16,55	-
3	Волинська	-	-	-	—	-	-
4	Дніпропетровська	382	12	165	167	20,84	0,4380
5	Донецька	189	91	39	66	9,03	4,0800
6	Житомирська	10	-	-	—	0,01	-
7	Закарпатська	3278	14	8	64	385,00	0,2400
8	Запорізька	205	103	24	2	3,60	1,9430
9	Івано-Франківська	805	95	85	45	301,00	10,8000
10	Київська	814	32	67	9	23,75	0,7700
11	Кіровоградська	140	12	18	1	3,04	0,2200
12	Луганська	769	339	38	30	6,62	4,8200
13	Львівська	1347	19	162	29	292,60	0,4200
14	Миколаївська	1150	100	51	59	8,98	0,7700
15	Одеська	5836	478	156	101	66,30	5,4000
16	Полтавська	824	4	116	20	63,90	0,0014
17	Рівненська	-	-	-	—	-	-
18	Сумська	567	3	30	1	7,44	0,1000
19	Тернопільська	117	24	38	—	11,74	1,1500
20	Харківська	1615	1	68	1	40,30	0,0900
21	Херсонська	33	18	12	17	0,85	0,7500
22	Хмельницька	423	3	40	43	20,96	0,0030
23	Черкаська	1033	161	281	2	33,99	4,6100
24	Чернівецька	1468	154	570	49	760,20	49,8000
25	Чернігівська	9	1	1	4	0,03	0,0400
Всього по Україні		22942	1777	2584	1638	2135,17	93,73

З таблиці 4.2 можна зробити висновок, що Закарпатська область є на другому місці після Одеської за кількістю зсувних процесів - 3278 зсувів, з яких 64 загрожують господарській діяльності.

Геологічна будова Закарпаття цих територій із флішовими відкладеннями – чергуванням пісковиків, глин та мергелів – робить їх особливо вразливими до розмиву та рухів ґрунту. Найбільш нестабільними є ділянки на висотах від 500 до 1000 метрів над рівнем моря, де зсуви виникають найчастіше. Спостерігається чітка сезонність цих явищ із двома піками активності: весняним, пов'язаним із таненням снігу, та літньо-осіннім, обумовленим інтенсивними дощами [12].

Особливу загрозу становлять старі, реактивовані зсуви, які становлять приблизно 30% від загальної кількості. Найбільші з них охоплюють площі від 20 до 50 гектарів із об'ємом ґрунтових мас від 1 до 5 мільйонів кубічних метрів. У передгірних районах переважають менші зсуви площею від 0,5 до 5 гектарів, але вони також становлять значну небезпеку для місцевості.

Закарпатська область, з її унікальними геологічними та кліматичними умовами, є регіоном із високим рівнем зсувонебезпечності. Дослідження показують, що майже 40% території області схильні до різних форм зсувоутворення, що створює значні ризики для місцевого населення та інфраструктури [14].

На рисунку 4.3 наведено картограму поширення зсувних процесів на території України.

Як впливає з рисунка 4.3 значна кількість зсувних процесів припадає на Карпатський регіон України, природні умови якого сприятливі до розвитку зсувних процесів.

Людська діяльність значно посилює зсувні процеси. Вирубка лісів на схилах призводить до того, що близько 70% зсувів у цих зонах виникають саме через відсутність природного захисту. Неконтрольована забудова, будівництво доріг без належного інженерного захисту та нераціональне сільське господарство також сприяють дестабілізації ґрунтів.

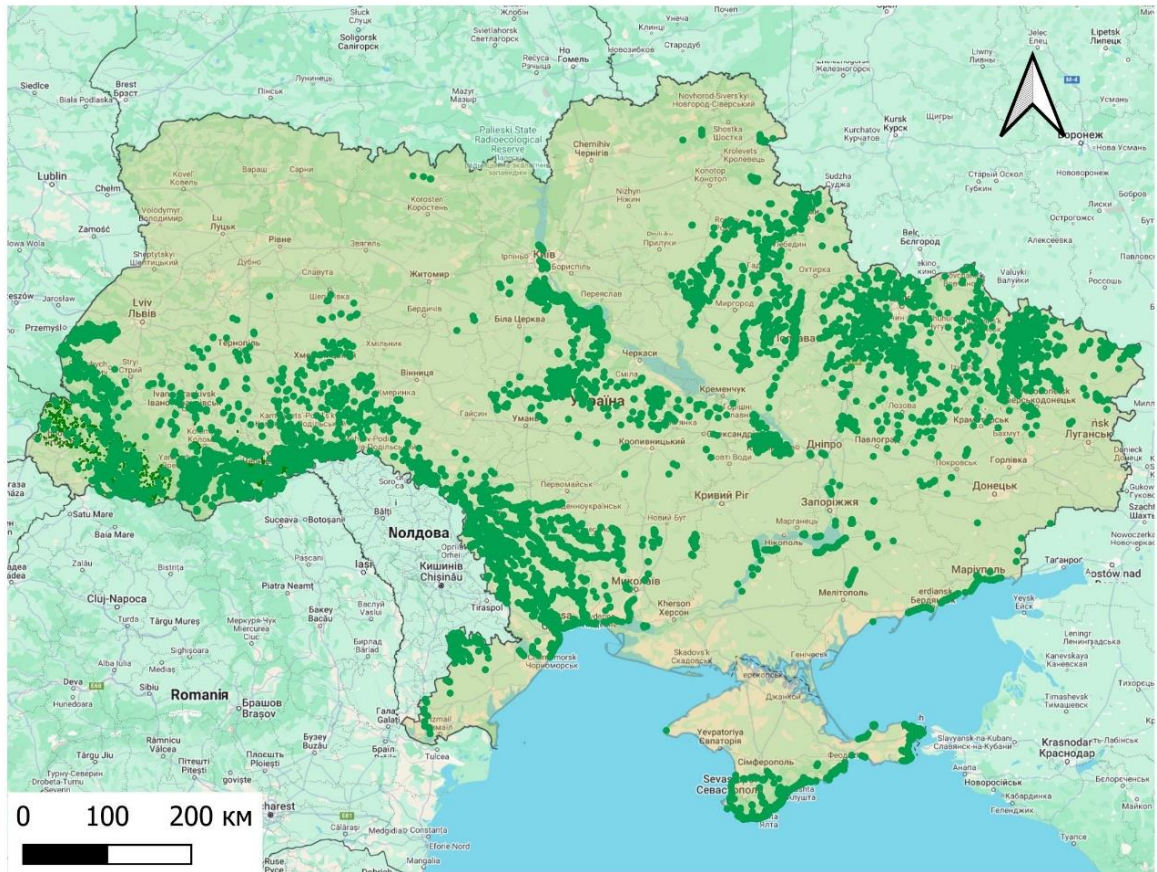


Рисунок 4.3 – Поширення зсувних процесів на території України

4.3 Картограми поширення зсувів у розрізах районів та територіальних громад

Основним інструментом досліджень щодо картографування поширення та моніторингу розвитку зсувних процесів є геоінформаційні системи (ГІС), які дозволяють поєднати просторову та атрибутивну складову, а також використовувати та поєднувати дані дистанційного зондування Землі, польових досліджень та архівних матеріалів. Супутникові знімки високої роздільної здатності, аерофотозйомка з дронів та радарна інтерферометрія дозволяють виявляти навіть незначні зміни рельєфу. Ці методи доповнюються традиційними геодезичними вимірюваннями та інженерно-геологічною зйомкою.

Аналіз отриманих даних проводиться з використанням цифрових моделей рельєфу, які дають точне уявлення про топографічні особливості території.

Спеціальні індекси, такі як NDVI для оцінки стану рослинності та топографічний індекс зволоження, допомагають визначити потенційно нестабільні ділянки. Моделювання зсувонебезпечних зон проводиться за допомогою спеціалізованих алгоритмів, що враховують кут нахилу схилів, тип ґрунтів та інші ключові фактори.

У даному дослідженні у якості середовища геоінформаційного картографування використано геоінформаційну систему QGIS [15].

У сучасних умовах цифровізації просторових даних геоінформаційне картографування стає невід’ємною складовою екологічних, географічних, урбаністичних та природоохоронних досліджень. Одним із найпотужніших інструментів у цій сфері є програмне забезпечення QGIS (Quantum Geographic Information System) — вільна ГІС-платформа з відкритим вихідним кодом, що дозволяє здійснювати повний цикл обробки геопросторових даних [19-20].

QGIS забезпечує користувачам широкий функціонал для створення, редагування, аналізу та візуалізації просторової інформації. Особливу увагу слід приділити можливостям геоінформаційного картографування, яке в QGIS реалізується через [17, 19-20]:

- підтримку численних форматів геоданих (векторних — shapefile, GeoPackage, KML; растрових — GeoTIFF, JPEG2000 тощо);
- доступ до відкритих картографічних шарів (наприклад, OpenStreetMap, Google Satellite, WMS/WMTS-сервіси);
- створення тематичних карт на основі атрибутивних даних;
- просторовий аналіз (буферизація, перетини, побудова ізоліній, зон ризику, моделей рельєфу);
- моделювання процесів у геопросторовому середовищі (зокрема, для моніторингу природних ресурсів, зміщень льодовиків, екологічного зонування тощо).

Важливою перевагою QGIS є його гнучкість і розширюваність — завдяки великій кількості плагінів, користувач може інтегрувати додаткові інструменти

для обробки даних дистанційного зондування, гідрологічного моделювання, автоматизації задач через Python-скрипти та інше.

Використовуючи QGIS, створено картограми поширення зсувних процесів на території Закарпатської області.

Зсувопрояви представлені у вигляді точкових об'єктів, відповідний карт ографічний шкар створено за даними ДНВП «Геоінформ України» [8] Державної служби геології та надр України. На рисунку 4.4 наведено картограму поширення зсувних процесів на території Закарпатської області.

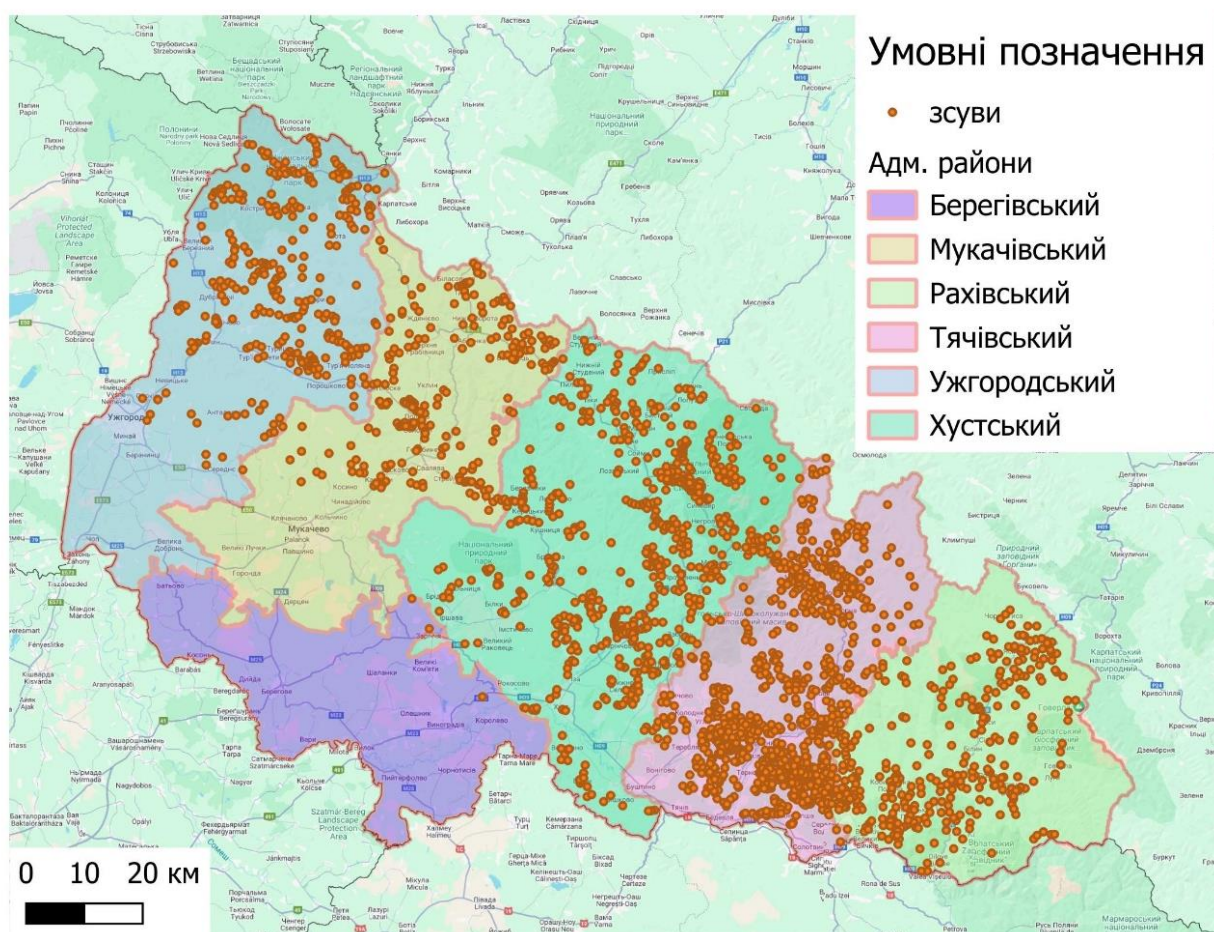


Рисунок 4.4 – Поширення зсувних процесів Закарпатської області

Найбільша концентрація точок зсувопроявів спостерігається у гірській та передгірській частинах Закарпаття.

Закарпатська область має складну картину поширення зсувних явищ, яка детально відображена у спеціалізованих картографічних матеріалах. Ці візуалізації ґрунтуються на комплексних дослідженнях, що поєднують сучасні

методи дистанційного зондування, польові спостереження та аналіз архівних даних. Найбільш показовою є географічна диференціація зсувонебезпечних територій між окремими районами області.

Наступним етапом досліджень є аналіз поширення зсувних процесів за об'єктами адміністративно-територіального устрою, зокрема, за районами та територіальними громадами. Картографічні шари районів та територіальних громад одержано з відкритих джерел (Національна інфраструктура геопросторових даних України).

За допомогою методів геоінформаційного аналізу виконано просторові запити у середовищі QGIS щодо розрахунку кількості зсувних процесів за адміністративно – територіальними одиницями. У якості такого інструменту можна використовувати плагін «Підрахунок точок у полігоні». Цей алгоритм бере шар точок та шар полігону та підраховує кількість точок з першого шару в кожному полігоні другого. Генерується новий шар полігонів з таким самим вмістом, як і вхідний шар полігонів, але містить додаткове поле з кількістю точок, що відповідає кожному полігону. Додаткове поле ваги може бути використано для призначення ваг кожній точці. Якщо встановлено, згенерована кількість буде сумою поля ваги для кожної точки, що міститься в полігоні. Крім того, можна вказати унікальне поле класу. Якщо встановлено, точки класифікуються на основі вибраного атрибута, і якщо кілька точок з однаковим значенням атрибута знаходяться в полігоні, враховується лише одна з них. Таким чином, кінцева кількість точок у полігоні є кількістю різних класів, які в ньому знайдені. Не можна вказати ні поле ваги, ні поле унікального класу. Якщо вони вказані, поле ваги матиме пріоритет, а поле унікального класу буде проігноровано [17].

Також можна використовувати калькулятор поля та складати скрипти на внутрішній мові маніпуляції даними QGIS (рис. 4.5).

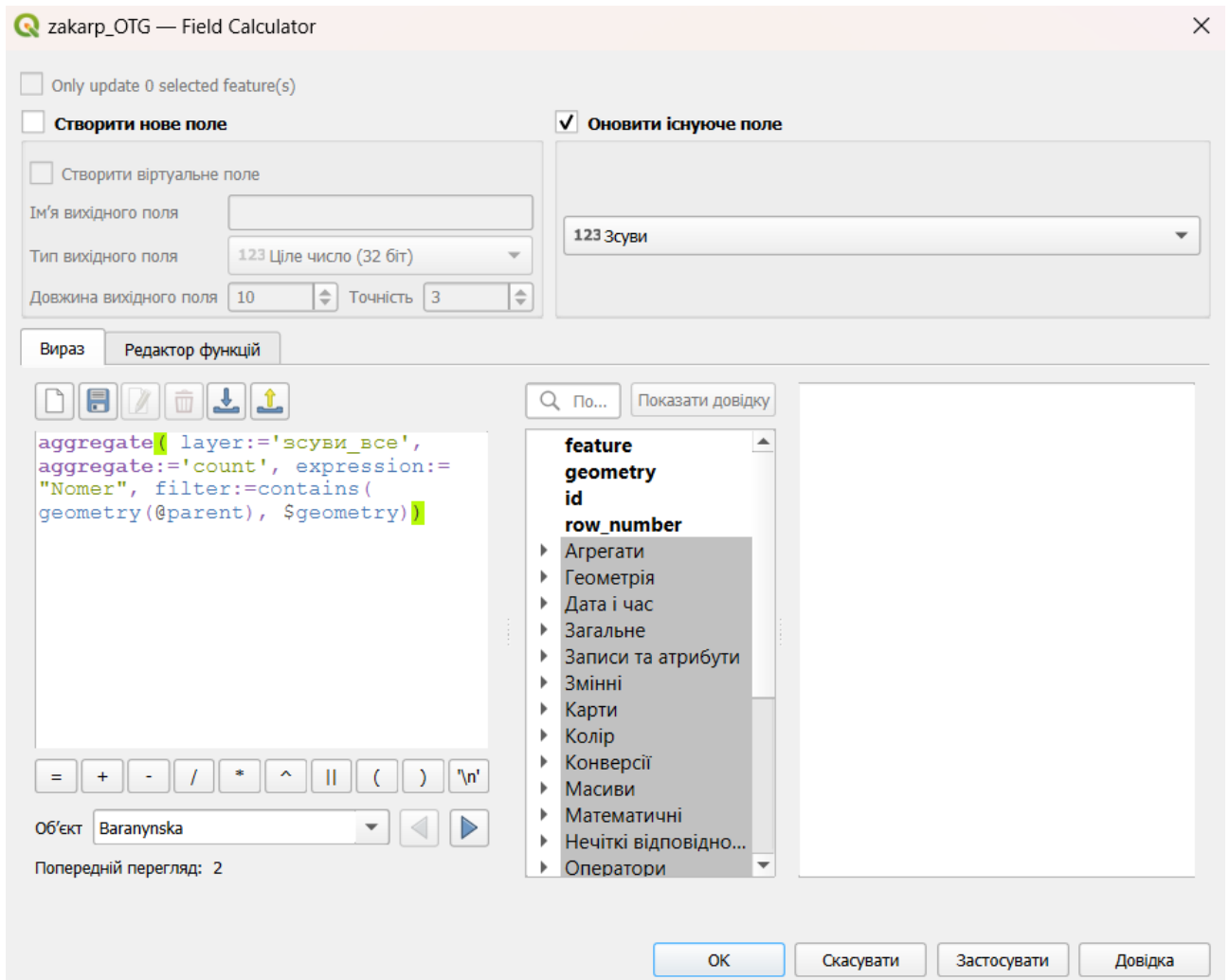


Рис. 4.5 – Вікно калькулятора поля з заданим скриптом

Також виконано розрахунок ураженості кожного адміністративно-територіального об'єкта зсувними процесами, як відношення кількості зсувів в кожній територіальній одиниці до площі цієї одиниці (рис. 4.6)

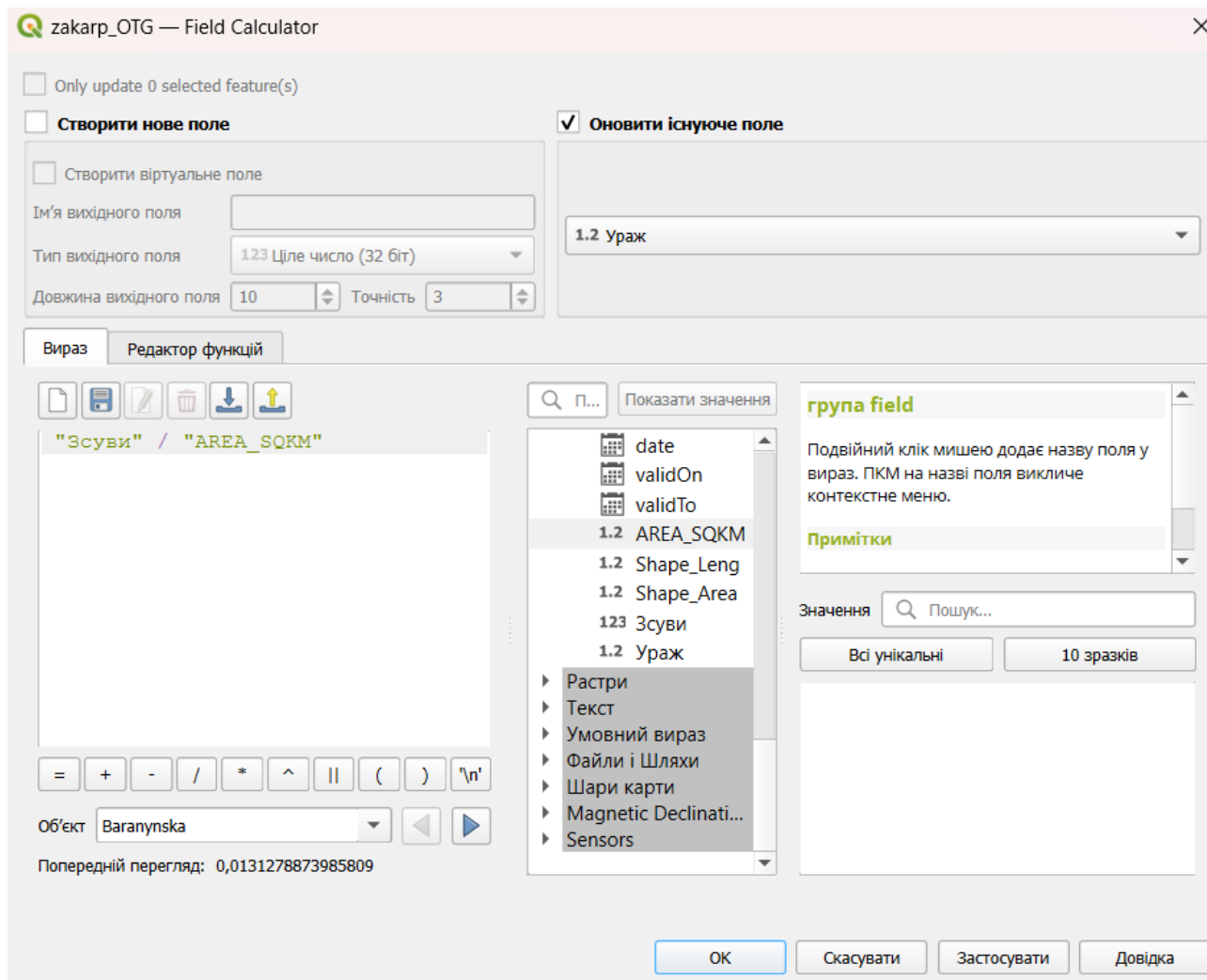


Рис. 4.6 – Вікно калькулятора поля з заданим скриптом

У результаті отримано відповідні атрибутивні таблиці картографічних шарів із адміністративними районами та територіальними громадами. Фрагмент цих атрибутивних таблиць наведено на рис. 4.7.

zakarp_OTG — Features Total: 64, Filtered: 64, Selected: 0

abc ADM = € abc Оновити все Оновити вибране

	AREA_SQKM	Shape_Leng	Shape_Area	Зсуви	Ураж
43	117,248613031...	0,85903672614	0,01431969567	4	0,03412
44	120,061206360...	0,91331657287	0,01468180299	18	0,14992
45	217,076937680...	1,10908074091	0,02645814182	16	0,07371
46	298,446642464...	1,63773187030	0,03667049828	69	0,2312
47	145,096818406...	0,9700020533	0,01765810063	0	0
48	436,853159514...	1,63440086341	0,05338903701	86	0,19686
49	37,44725605930	0,53800963769	0,00456770747	0	0
50	65,71044138110	0,6576153387	0,00800731397	0	0
51	83,99842313950	0,74699753899	0,0102040776	0	0
52	149,017331932...	0,75421479713	0,01805997939	7	0,04697
53	179,085491511...	0,96988989316	0,021606455	23	0,12843
54	223,296981724...	0,87305910985	0,02708970237	90	0,40305
55	257,621072129...	1,06081153217	0,03128095359	41	0,15915
56	147,755040188...	1,04652213085	0,01790573767	44	0,29779

Показати всі об'єкти

Рис. 4.7 – Фрагмент атрибутивної таблиці шару «Територіальні громади»

На основі одержаних даних щодо поширення зсувних процесів за адміністративними районами та територіальними громадами побудовано тематичні картограми за кількостями зсувних процесів у територіальній одиниці та урвженістю зсувними процесами їхніх площ.

Картограми у QGIS можна створювати за допомогою вікна «Властивості шару», розділу «Символіка» (рис. 4.8).

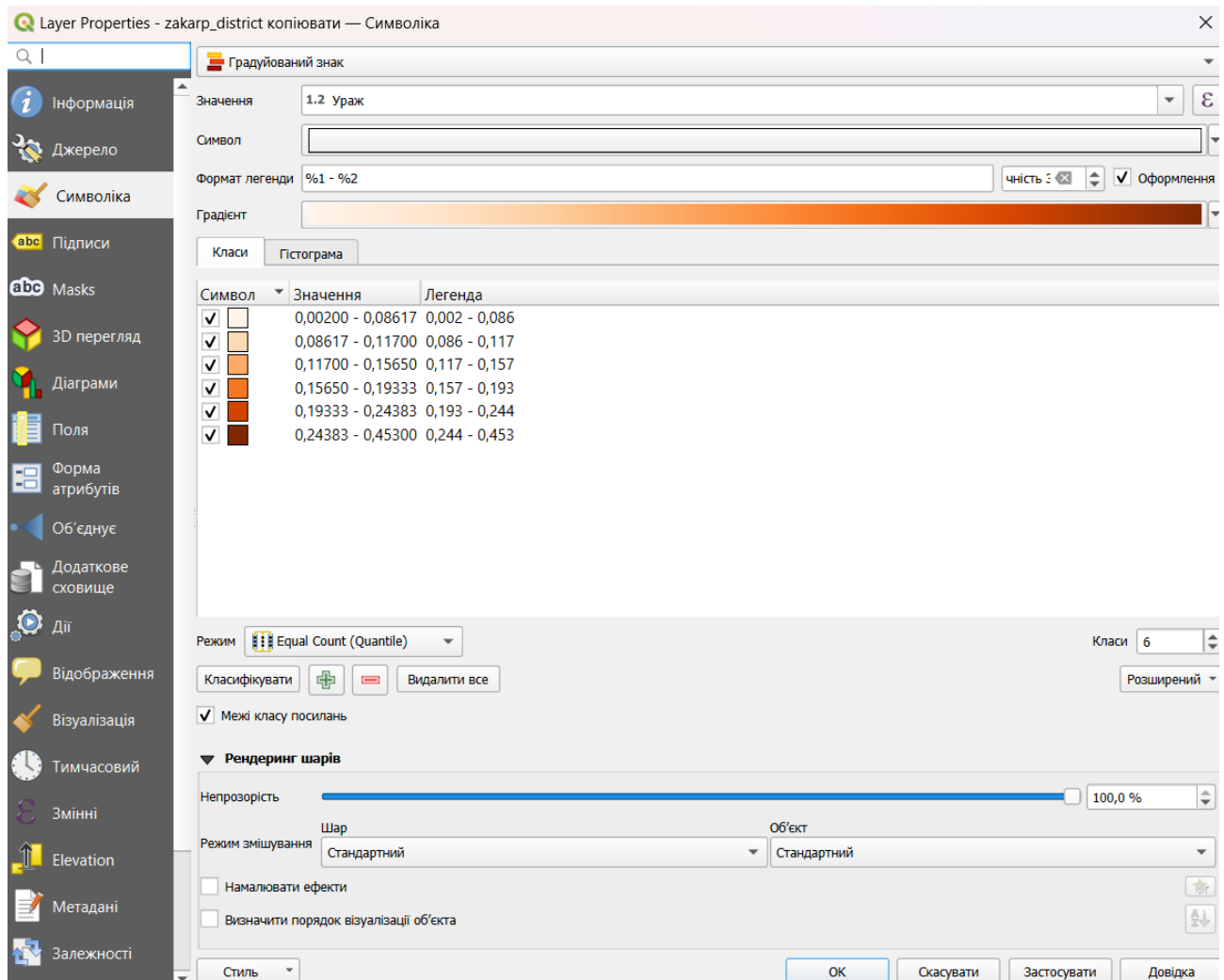


Рис. 4.8 – Вікно Властивості шару із заданою градацією за ураженістю зсувами

На рис. 4.9 та 4.10 наведено відповідні картограми за кількістю зсувних процесів та ураженістю територій зсувами для адміністративних районів. Як випливає з картограми найбільше зсувів спостерігається у Тячівському районі, далі йде Хустський та Рахівський. Така аномальна кількість зсувів у Тячівському районі багато у чому зумовлена великим числом зсувних процесів, приурочених до тектонічної структури – Солотвинської котловини [12].

Далі побідуємо аналогічні картограми для територій територіальних громад (рис. 4.11 – 4.12).

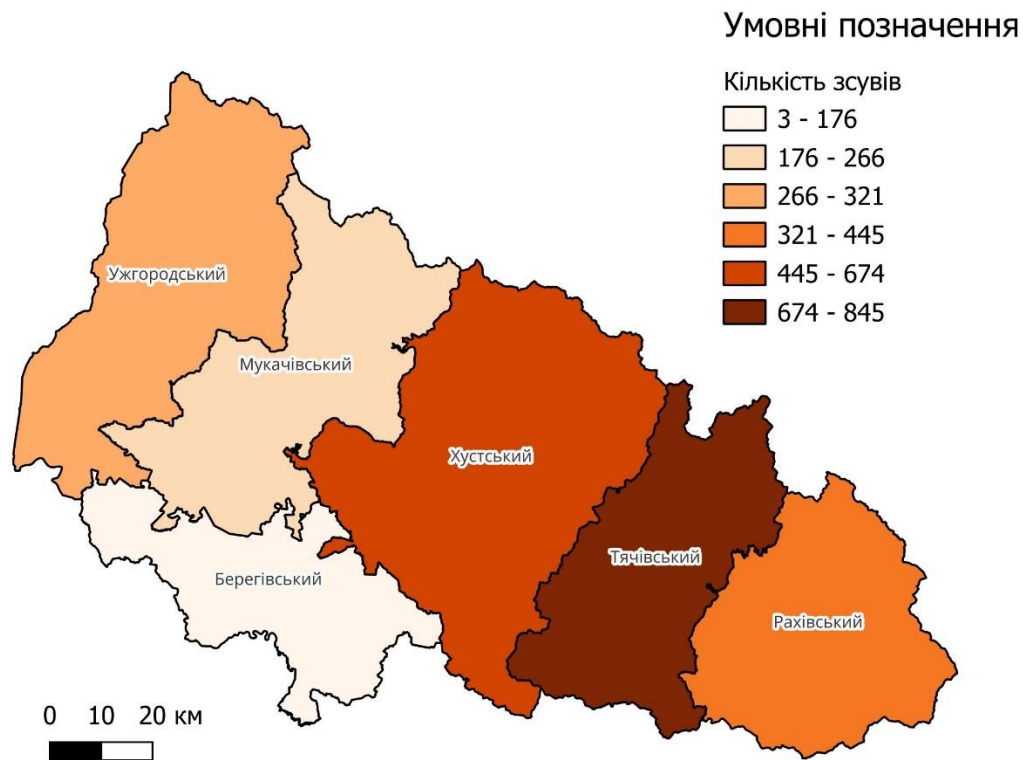


Рис. 4.9 – Картограма кількостей зсувів у районах

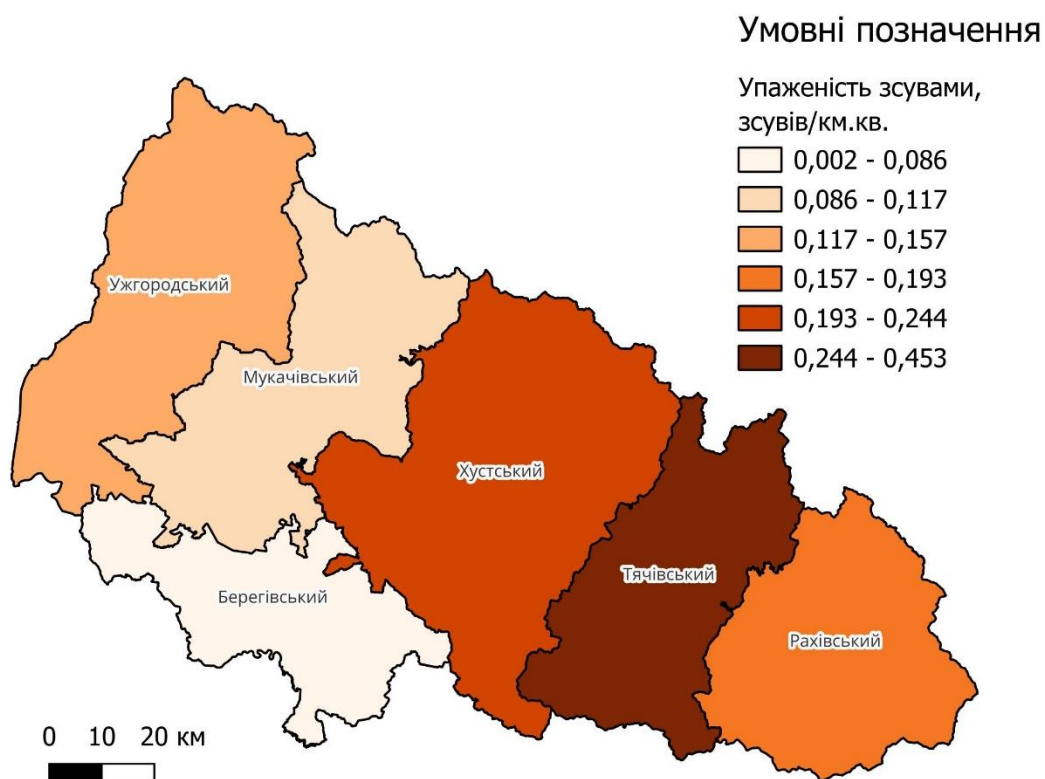


Рис. 4.10 – Картограма ураженості зсувами адміністративних районів

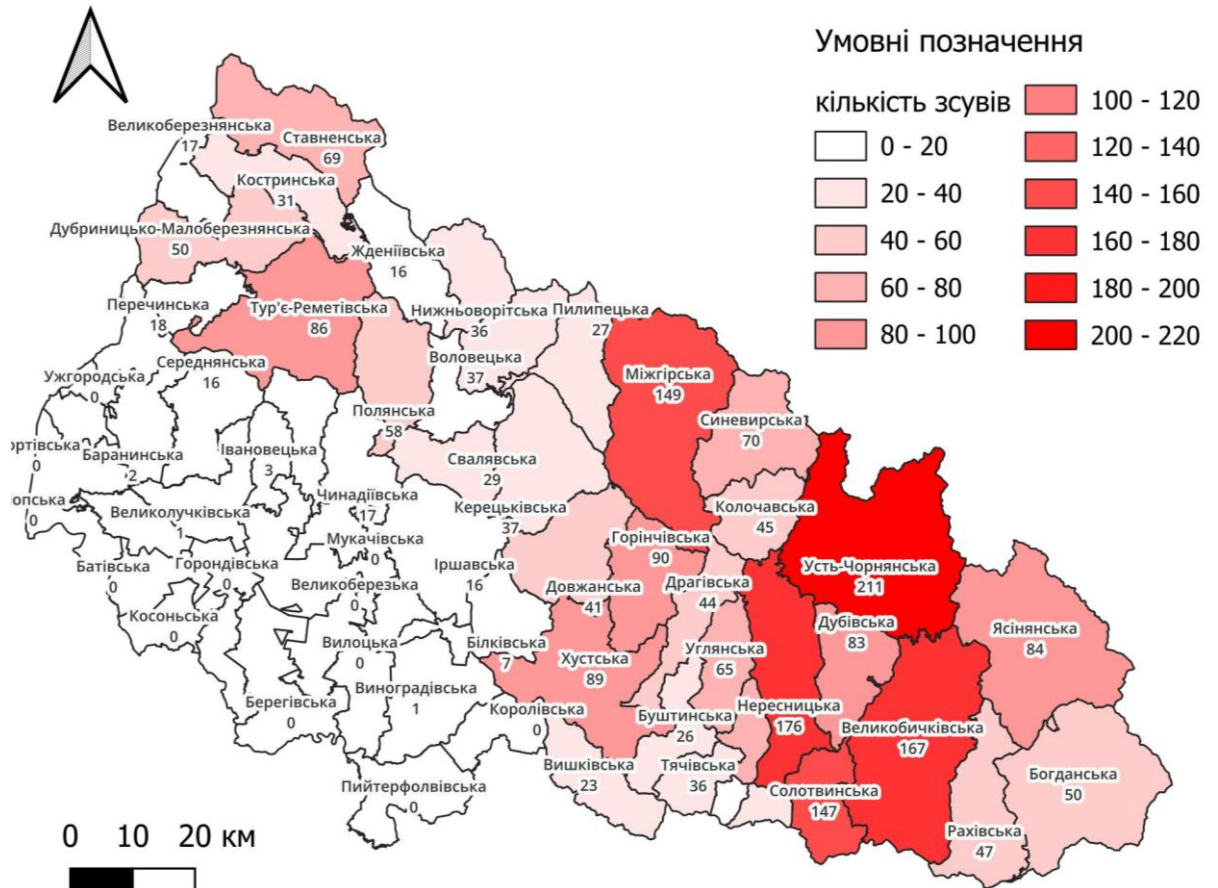


Рис. 4.11 – Картограма кількостей зсувів у територіальних громадах

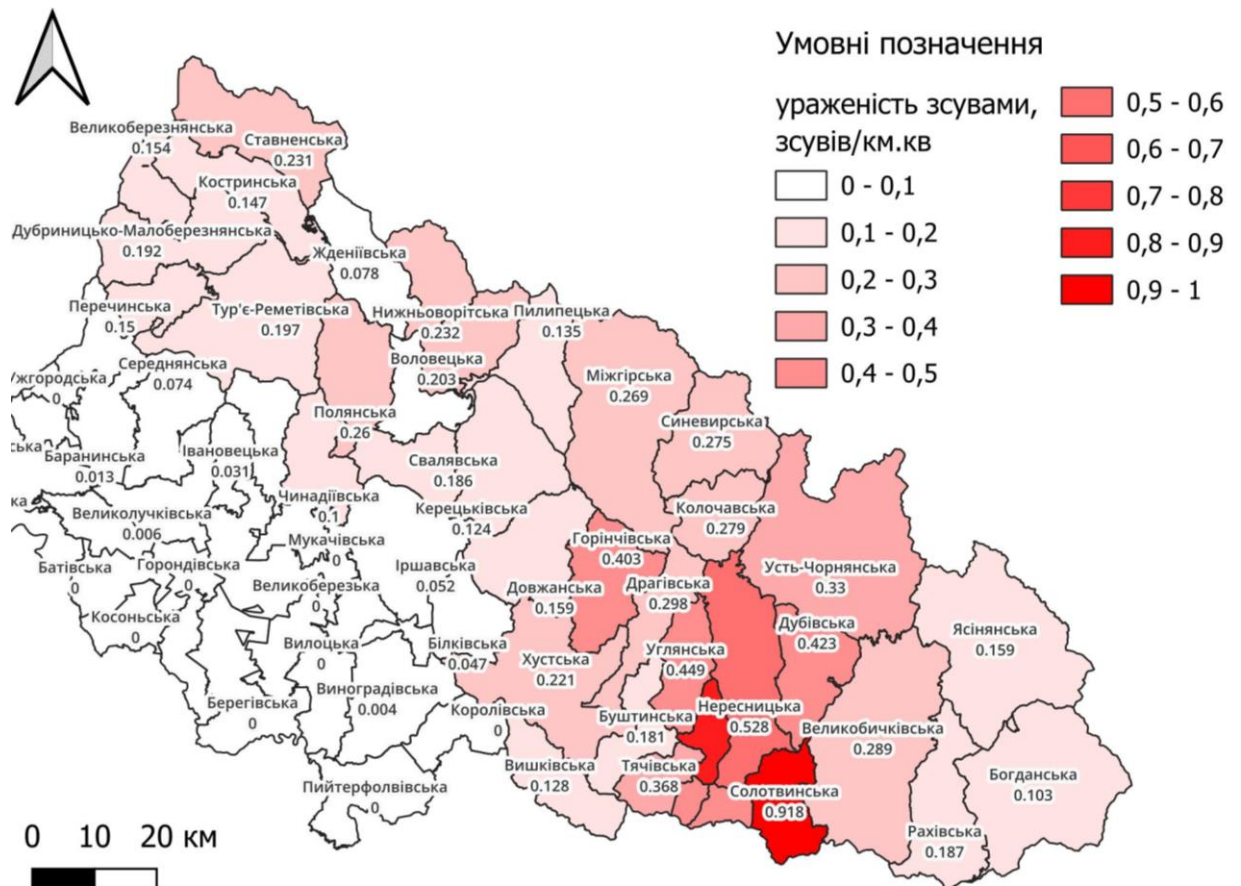


Рис. 4.12 – Картограма ураженості зсувами територіальних громад

З рисунка 4.11 видно, що найбільша кількість зсувних процесів спостерігається у Усть-Чорнянській, Нересницькій, Великобичківській, Міжгірській та Солотвинській територіальних громадах. Рис. 4.12, картограма ураженості зсувами територій свідчить, найбільше зсувів на кілометр квадратний спостерігається у Солотвинській (0,918) та Вільховецькій (0,877) територіальних громадах (рис. 4.13).

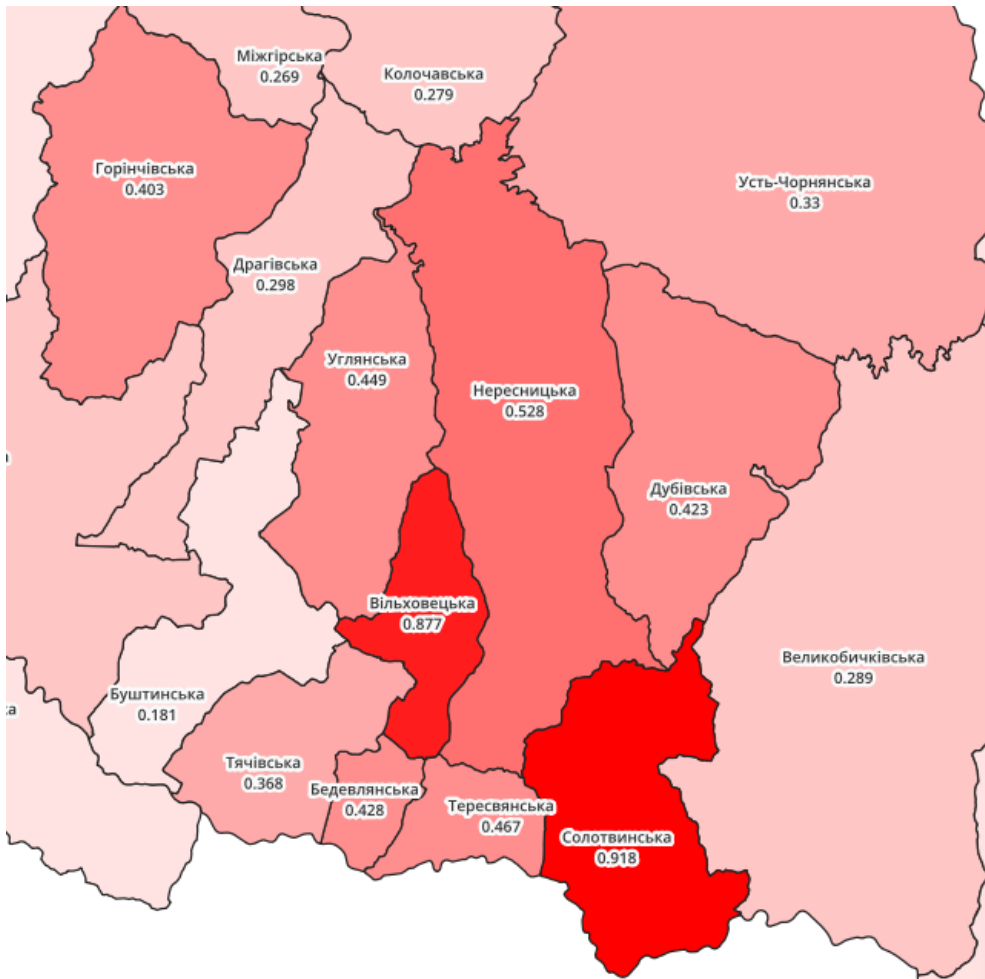


Рис. 4.13 – Фрагмент картограми ураженості зсувами територій ОТГ

Підвищена активність зсувних процесів спостерігається для територій де поєднуються несприятливі геологічні умови з інтенсивним антропогенним впливом. Побудовані тематичні карти зсувонебезпечних зон у прив'язці до конкретних територіальних громад допомагають локалізувати проблемні ділянки. Важливим інструментом стали схеми пріоритетних протизсувних заходів та маршрути евакуації для мешканців ризикових територій.

Геоінформаційне картографування є незамінним інструментом для прийняття управлінських рішень на всіх рівнях. Одержані картограми дозволяють органам місцевого самоврядування ефективно планувати профілактичні заходи, оптимально розподіляти ресурси для боротьби з зсувними процесами та розробляти стратегії довгострокового розвитку територій з урахуванням геодинамічних ризиків. Особливе значення ці матеріали мають для планування нових будівельних проектів та розвитку інфраструктури в умовах нестабільних ґрунтів [11].

4.4 Побудова діаграм та теплової карти

Поширення зсувних процесів у Закарпатській області можна наочно відобразити за допомогою спеціалізованих графіків та діаграм, які дозволяють проаналізувати ключові закономірності поширення цих небезпечних явищ.

Атрибутивні таблиці експортовано у середовище MS Excel та побудовано лінійні діаграми за кількістю зсувних процесів та ураженістю (рис. 4.14-4.15).

Оцінити щільність поширення зсувних процесів та провести зонування території безвідносно до територіальних одиниць можна за допомогою побудови теплової карти.

У дослідженнях, пов'язаних із оцінкою геодинамічних ризиків, важливу роль відіграє виявлення зон підвищеної активності небезпечних геологічних процесів, зокрема зсувів. Одним з ефективних методів візуалізації просторової щільності таких явищ є створення теплових карт (heatmaps) засобами геоінформаційних систем.

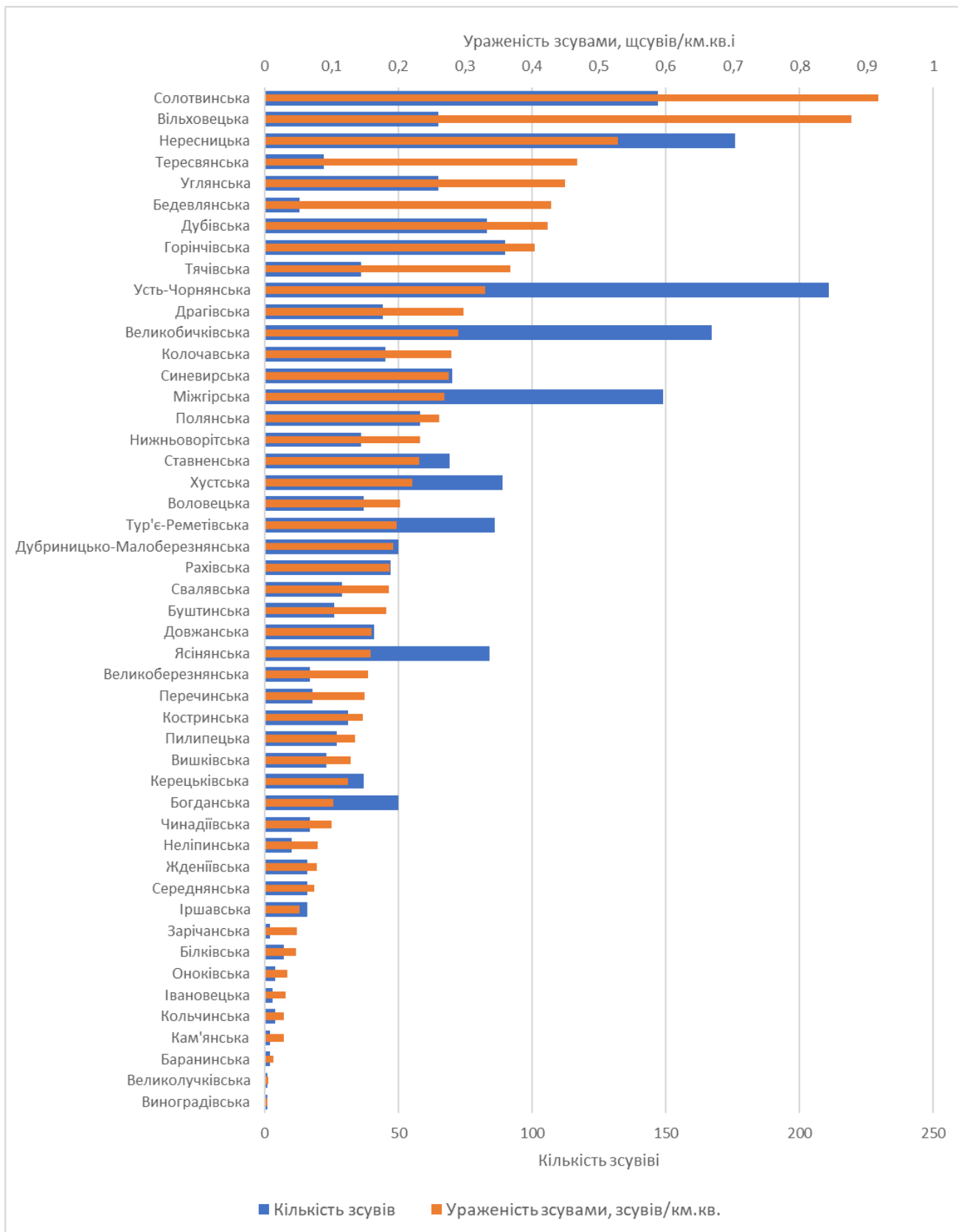


Рис. 4.14 – Суміщена діаграма кількості зсувів та ураженості зсувами територіальних громад

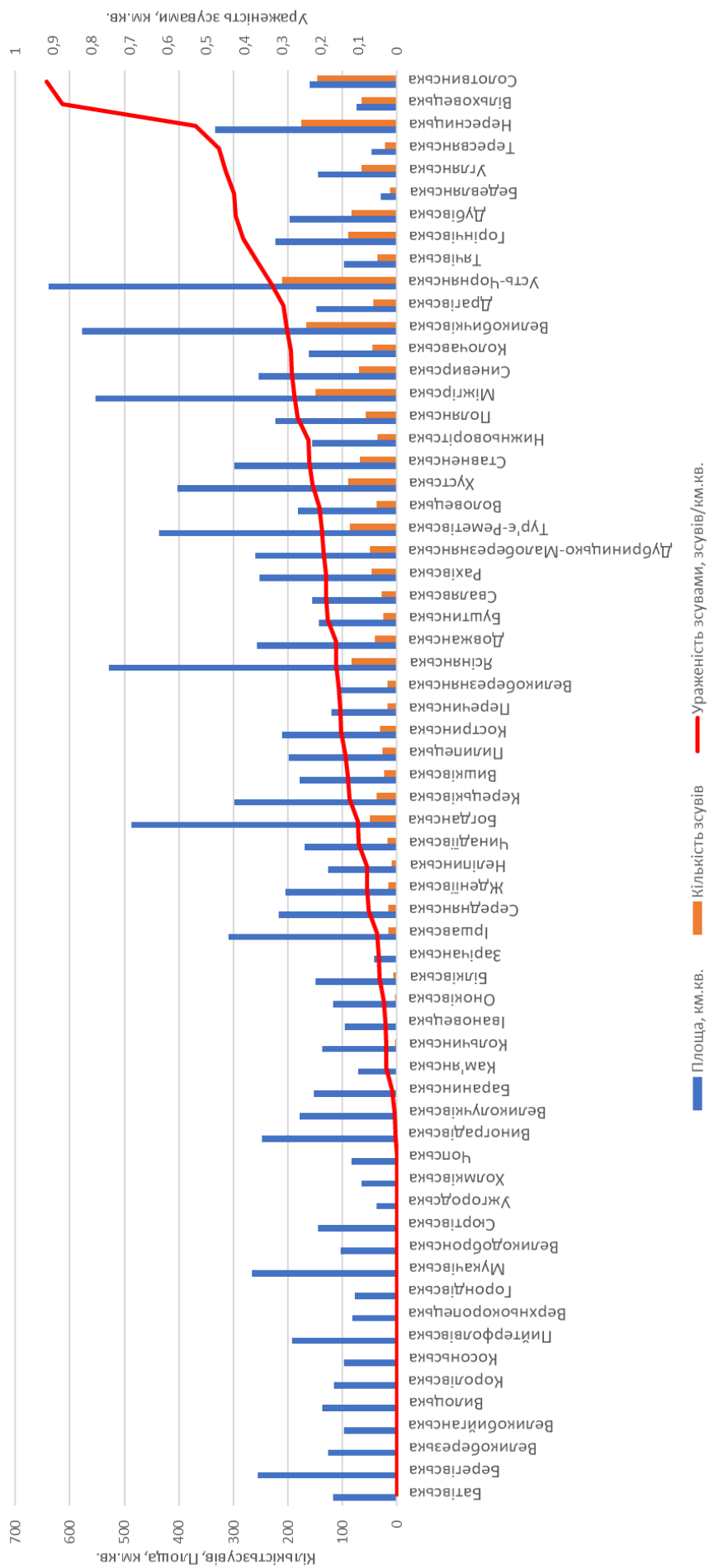


Рис. 4.15 – Суміщена діаграма кількості зсувів, площі та ураженості зсувами територіальних громад

Теплова карта в QGIS дозволяє відобразити щільність розподілу точкових подій — у даному випадку, місць розвитку зсувних процесів — у вигляді растрового зображення з градієнтом кольорів, де тепліші відтінки (жовті, червоні) вказують на зони з вищою концентрацією точок. Це дозволяє візуально ідентифікувати так звані «гарячі точки» зсувної активності та використати ці результати для подальшого аналізу ризиків, планування заходів захисту, або верифікації геоморфологічних моделей [15, 20].

Процедура створення теплової карти у QGIS передбачає використання алгоритму ядерної оцінки щільності (*kernel density estimation*). Кожна точка впливає на навколишню територію в межах заданого радіусу впливу, а значення пікселів вихідного растра відображають накопичену інтенсивність впливу точок. Для побудови карти використовується модуль *Heatmap (Kernel Density Estimation)*, доступний у панелі Processing Toolbox, або через меню *Raster → Analysis → Heatmap* [15, 20]. Основними параметрами при цьому є:

- вхідний векторний шар із координатами зсувів
- значення радіусу (визначається залежно від масштабу та характеру досліджуваної території);
- роздільна здатність вихідного растрового зображення;
- (опційно) вагове поле, яке може враховувати інтенсивність чи площу зсуву.

Результатом є растрове покриття, яке після відповідної стилізації (градієнт кольору, рівень прозорості, легенда) може використовуватися для створення тематичних карт з оцінкою потенційно небезпечних зон. Такий підхід є особливо корисним у регіонах зі складною геоморфологією, де кількість зсувів значна, а їх просторовий розподіл є неоднорідним.

На рис. 4.16 наведено теплову карту поширення зсувних процесів по території Закарпатської області. Радіус пошука заданий рівний 10000 м. Роздільна здатність 10 м. Результат теплової карти (*heatmap*), створеної в QGIS, вимірюється в абстрактних одиницях щільності.

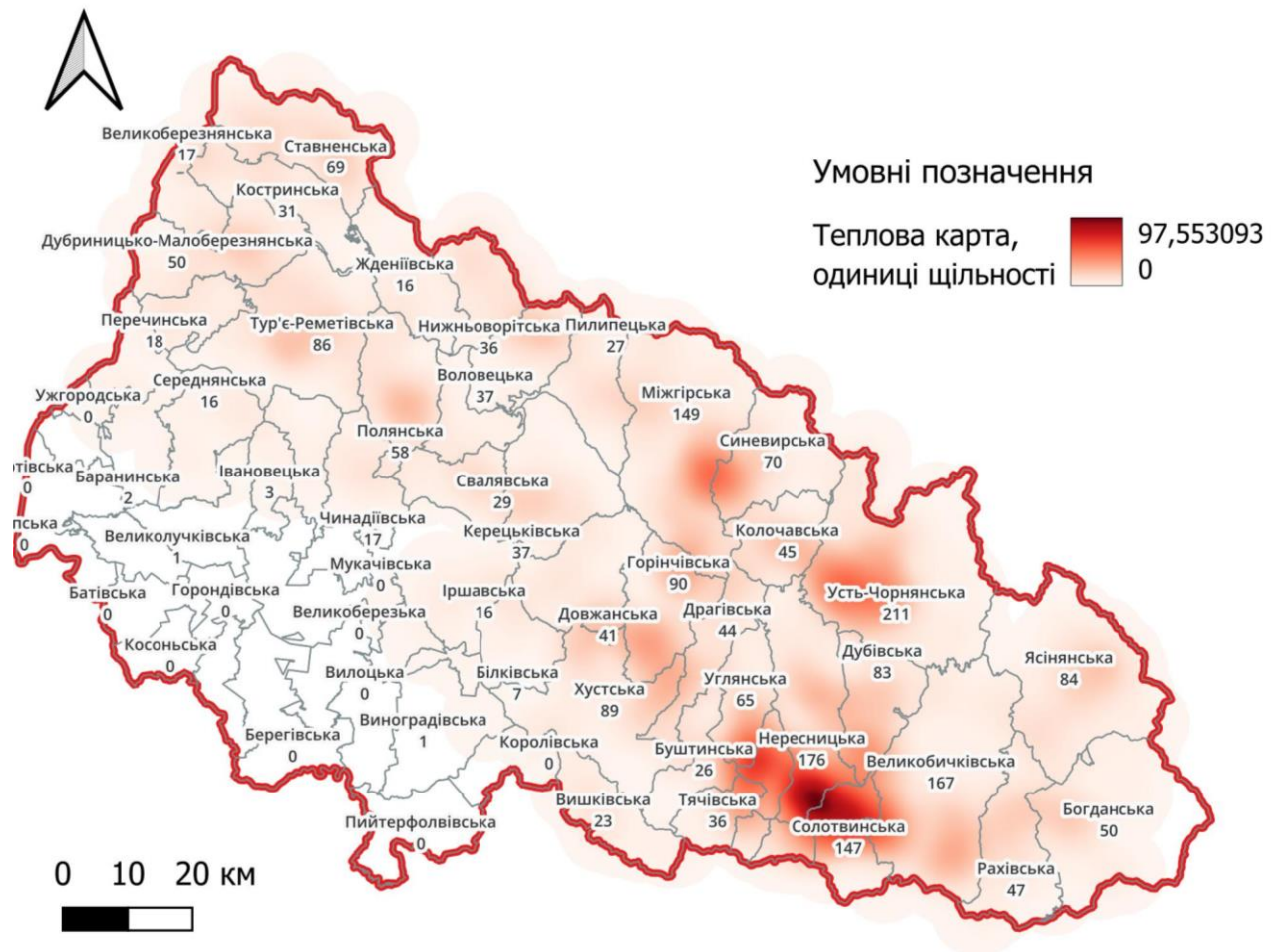


Рисунок 4.16 – «Теплова» карта поширення зсувів

4.5 Оцінка зсувонебезпечних територій

За адміністративними районами найбільш ураженими зсувними процесами є територіальні громади Тячівського району. Проведемо аналіз за характеристиками рельєфу для територіальних громад цього району. Для цього використаємо цифрову модель рельєфу FAB DEM. У дослідженні було застосовано цифрову модель рельєфу FABDEM (*Forest And Buildings removed Copernicus DEM*), яка належить до нового покоління глобальних цифрових моделей, створених на основі супутникових даних із урахуванням видалення об'єктів наземного покриття — зокрема, будівель та рослинності. Модель FABDEM розроблена на базі Copernicus GLO-30 DEM шляхом застосування

алгоритмів машинного навчання для корекції висот, обумовлених наявністю лісів та забудови (Hawker et al., 2022). Це дозволяє отримати більш точне уявлення про реальну земну поверхню, що є критично важливим для геоморфологічного аналізу, моделювання поверхневого стоку, оцінки зсувонебезпечних територій, а також для аналізу ерозійних процесів [18].

FABDEM є цифровою моделлю рельєфу (Digital Terrain Model, DTM) з глобальним покриттям (за винятком Антарктиди) та просторовою роздільною здатністю 30 м. Висотні значення представлені у метрах відносно геоїда (EGM96) або еліпсоїда WGS84. Перевагою цієї моделі є її адаптованість до широкого спектра геоінформаційних задач, зокрема в межах середньомасштабного аналізу природних ризиків [18].

У рамках даної роботи модель FABDEM використовувалася як основа для побудови похідних морфометричних параметрів (нахилу, експозиції, кривизни поверхні), а також для просторового аналізу зон розвитку зсувних процесів.

На рисунку 4.17 наведено цифрову модель рельєфу для тячівського району, а на рис. 4.18 розраховані кути нахилу.

Далі за допомогою плагіна «Зональна статистика» розрахуємо середні значення для абсолютних відміток рельєфу та кутів нахилу для кожної територіальної громади Тячівського району. Побудовані діаграми, за кутом нахилу та абсолютними відмітками рельєфу наведені на рис 4.19-4.20.

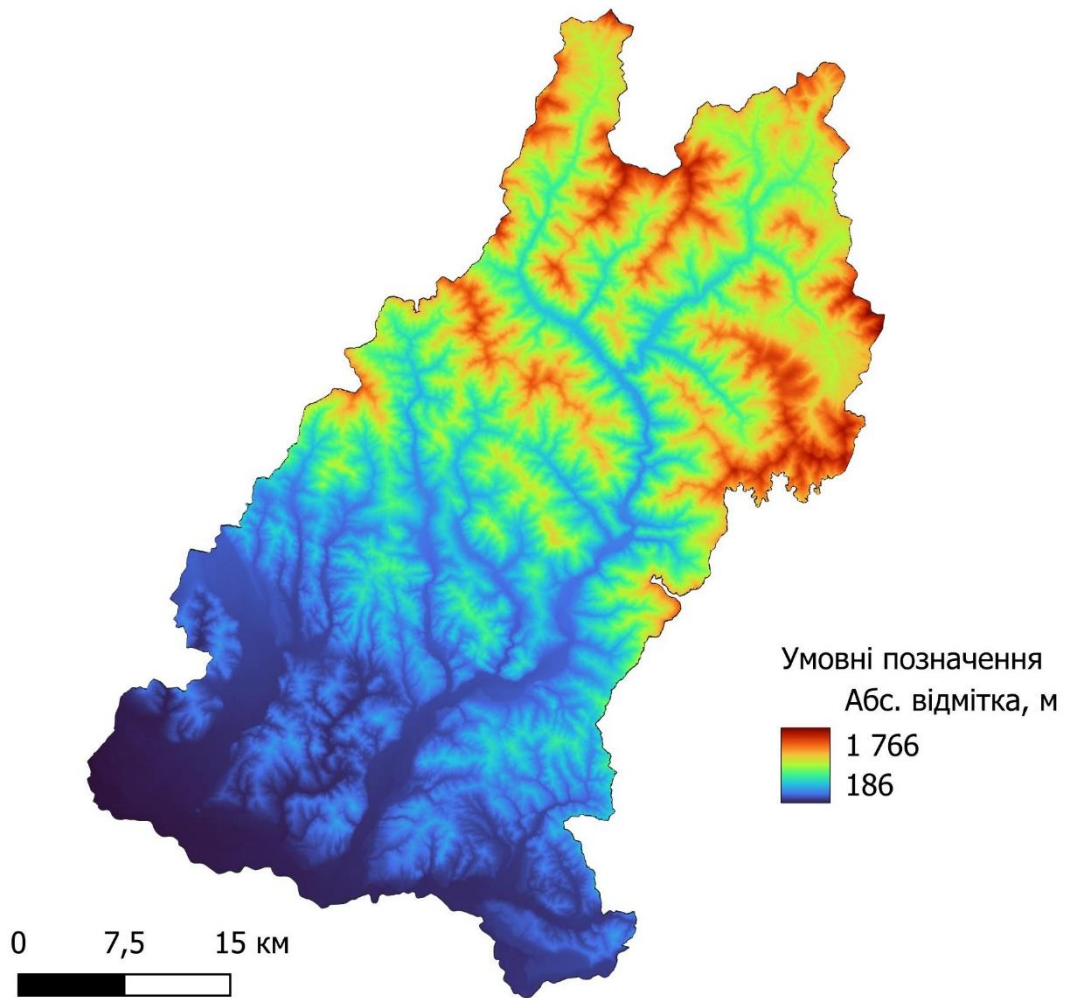


Рисунок 4.17 – Цифрова модель рельєфу Тячівського району

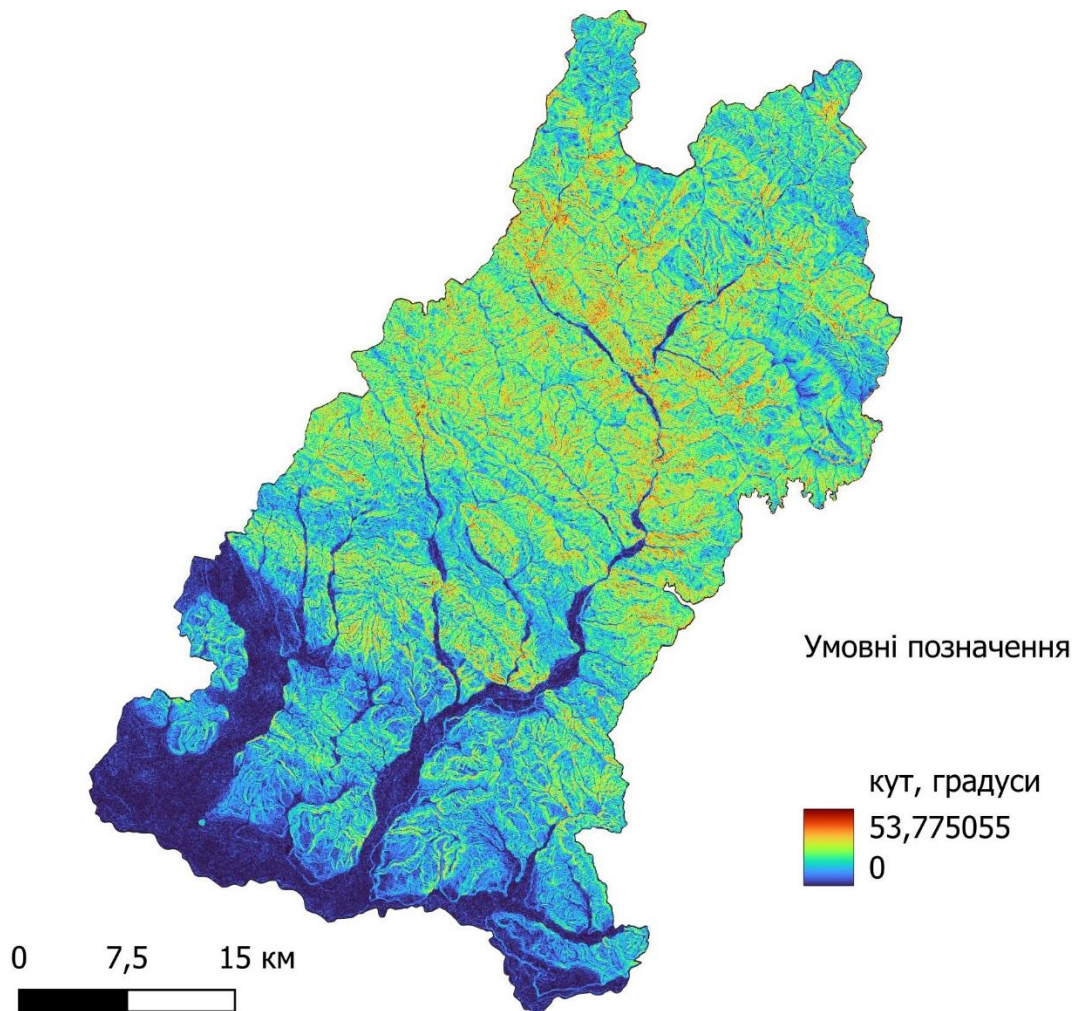


Рисунок 4.18 – Кути нахилу земної поверхні для території Тячівського району

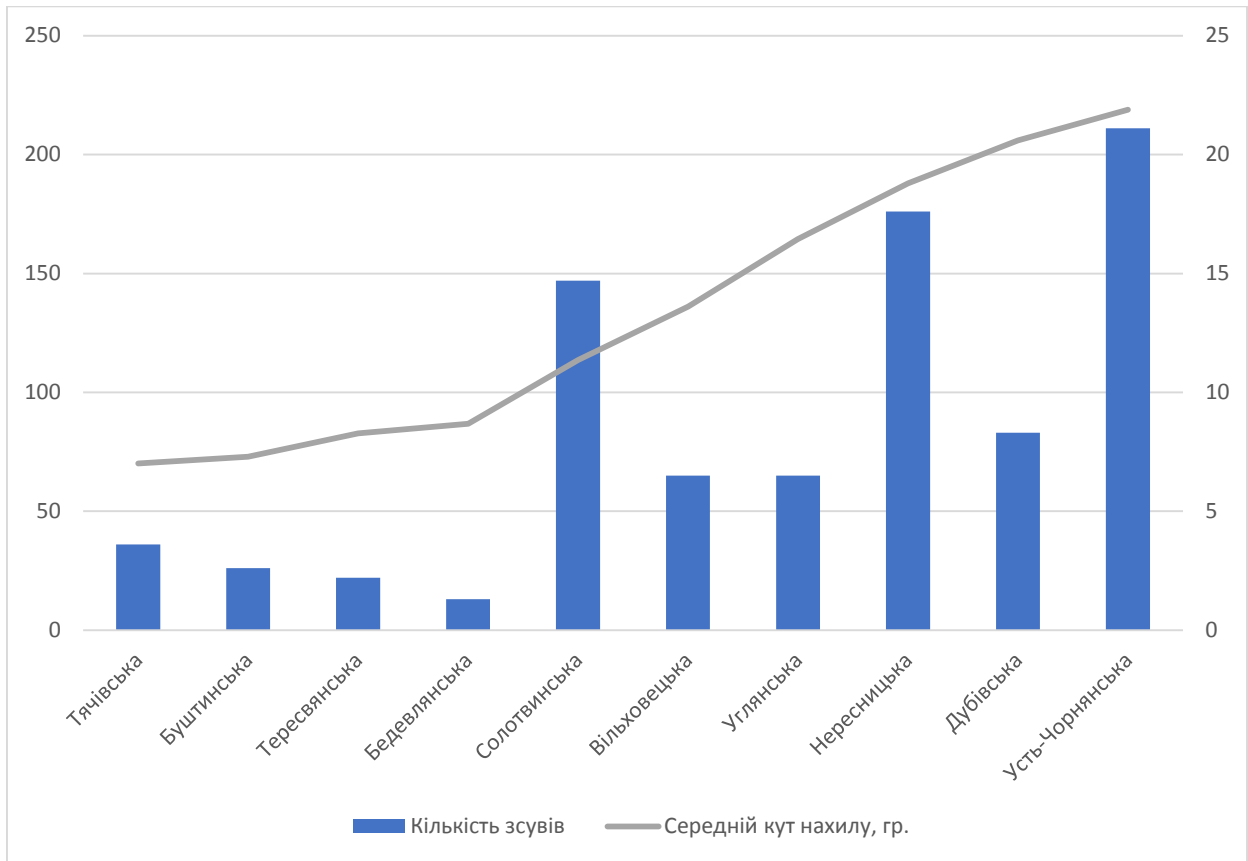


Рисунок 4.19 - Суміщена діаграма середніх кутів нахилу та кількостей зсувів для територіальних громад Тячівського району

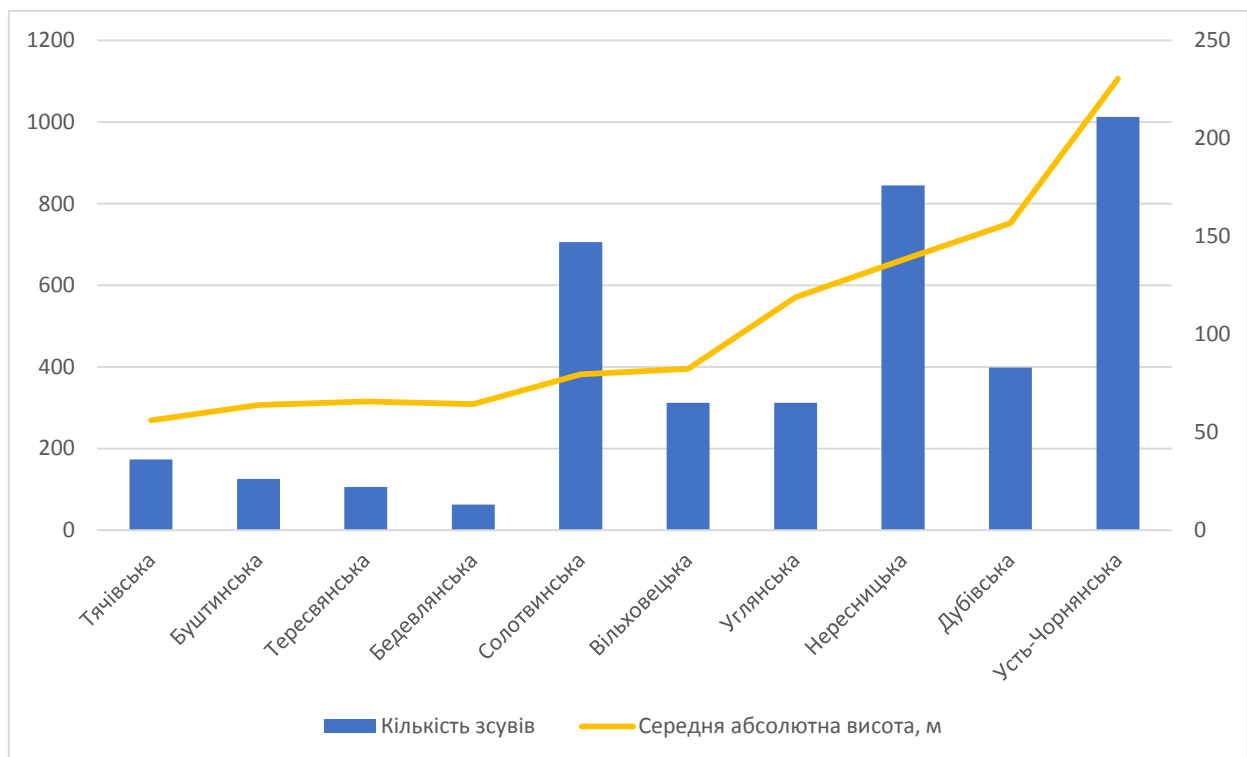


Рисунок 4.20 - Суміщена діаграма середніх абсолютних висот та кількостей зсувів для територіальних громад Тячівського району

Як видно з діаграм (рис. 4.19-4.20) найбільша кількість зсувів спостерігається для територіальних громад, де кути нахилу більші 10 градусів, а абсолютні відмітки рельєфу більші 400 м. Це передусім Нересницька та Усть-Чорнянська громади.

Для зменшення ризиків необхідний цілий комплекс заходів. Пріоритетними напрямками є розробка та впровадження системи раннього попередження, проведення інженерних робіт з укріплення критичних ділянок, оптимізація господарської діяльності у вразливих зонах та масштабні роботи з відновлення лісового покриву. Регулярний моніторинг і своєчасне оновлення даних дозволяють оперативно реагувати на зміни ситуації та мінімізувати потенційні загрози для життя людей та стабільності інфраструктури регіону.

Практичне застосування отриманих результатів включає розробку рекомендацій для органів місцевого самоврядування щодо планування забудови, створення системи моніторингу та впровадження профілактичних заходів. Для населення розробляються спеціальні інформаційні ресурси, які попереджають про потенційну небезпеку та надають рекомендації з дій у надзвичайних ситуаціях.

ВИСНОВКИ

Зсувні процеси є небезпечними геодинамічними процесами, які значно поширені на території Карпатського регіону України. Врахування інженерно-геологічних умов території необхідне при вирішенні інженерно-геодезичних, землевпорядних задач та при оціночній діяльності.

Геоінформаційне тематичне картографування є ключовим інструментом у вивченні, моніторингу та прогнозуванні природних і техногенних небезпек, зокрема зсувів, завдяки можливості інтеграції просторових даних, аналізу багатофакторного впливу та динамічного оновлення інформації. Воно є основою для обґрунтованих рішень у сфері територіального управління, захисту населення та планування сталого розвитку. У дослідженні успішно використано геоінформаційну систему QGIS як ефективне середовище для картографування та аналізу просторових даних зсувних процесів на території Закарпатської області.

Закарпатська область є однією з найбільш зсувонебезпечних територій України. Особливості її геологічної будови, складний рельєф, сезонність опадів і антропогенний тиск (вирубка лісів, забудова) суттєво підвищують ризик активізації зсувів. Основні райони активного зсувоутворення в Закарпатській області — Рахівський, Тячівський і Хустський, де зсуви часто мають значні масштаби та створюють загрозу для населених пунктів і інфраструктури.

Побудовані тематичні картограми і теплові карти візуалізують зони найбільшої концентрації зсувів, зокрема у гірських і передгірських районах, а також в окремих адміністративних одиницях і територіальних громадах (зокрема Тячівському районі, Солотвинській територіальній громаді).

Отримані картографічні матеріали є цінним інструментом для органів місцевого самоврядування, сприяють ефективному плануванню протизсувних заходів, розробці стратегій розвитку та управлінню ризиками на території області.

Основні фактори формування зсувонебезпечних зон в Закарпатській області включають переважання флішових порід у геологічній будові, круті схили (часто понад 25 градусів), високий рівень опадів (до 1400 мм на рік), а також інтенсивний антропогенний вплив (вирубка лісів, забудова на схилах, нерациональне сільське господарство).

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ НА ДЖЕРЕЛА

1. Геоінформаційні системи в науках про Землю : монографія / В. І. Зацерковний, І. В. Тішаєв, І. В. Віршило, В. К. Демидов. – Ніжин : НДУ ім. М. Гоголя, 2016. – 510 с.
2. Геоінформаційні системи і бази даних: монографія / В. І. Зацерковний, В. Г. Бурачек, О. О. Железняк, А. О. Терещенко. – Ніжин : НДУ ім. М. Гоголя, 2014. – 492 с
3. ДБН В.1.1-46:2017 Інженерний захист територій, будівель споруд від зсувів та обвалів. Основні положення. / К.: Мінбуд України, 2017. / 43 с .
4. Донченко М. В. Геоінформаційні системи : навчальний посібник / М. В. Донченко, І. І. Коваленко. – Миколаїв : Вид-во ЧНУ ім. Петра Могили, 2021. – 132 с.
5. Доповідь про стан навколишнього природного середовища Закарпатської області за 2023 рік. Ужгород – 2024. – 148 с.
6. ДСТУ-Н Б В.1.1-37:2016 Настанова щодо інженерного захисту територій, будівель та споруд від зсувів та обвалів. / К. Мінбуд України, 2017. / 89 с.
7. Екологічний паспорт Закарпатської області за 2023 р. Ужгород – 2023.- 171 с.
8. Інформаційний щорічник щодо активізації небезпечних екзогенних геологічних процесів на території України за даними моніторингу ЕГП: С. І. Примушко, Н. Б. Коваленко, Н. Г. Пишна (ред.). Київ: Державна служба геології та надр України, Державне науково-виробниче підприємство «Державний інформаційний геологічний фонд України», 2020, 104 с.
9. Нормативна грошова оцінка земель в Україні : навчальний посібник / Паньків Зіновій, Ямелинець Тарас. – Львів : ЛНУ імені Івана Франка, 2021. – 344 с.
10. Основи геоінформатики: Навчальний посібник / За заг. ред. О.О. Світличного. - Суми: ВТД «Університетська книга», 2006. - 295 с.

11. Особливості проектування будівель у складних інженерно-геологічних умовах. / за ред. Кузьменка Е.Д.. – Івано-Франківськ : ІФНТУНГ, 2024. – 269 с.
12. Прогнозування зсувів: монографія / Е. Д. Кузьменко, П. В. Блінов, О. П. Вдовина, М. Г. Демчишин, О. М. Журавель; ред.: Е. Д. Кузьменко; Івано-Франків. нац. техн. ун-т нафти і газу. Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2016. 601 с.
13. Рудько Г. І., Климчук Л. М., Яковлев Є. О. Наукові і методичні основи прогнозування екологічного ризику небезпечних геологічних процесів у Закарпатті у зв'язку з їх масовою активізацією. Мінеральні ресурси України. 1999. № 2. С. 42–45.
14. Шехунова С. Б., Сьюмар Н. П., Лобасов О. П., Стадніченко С. М. Аналіз просторових закономірностей поширення зсувів у межах Закарпатської області засобами ГІС // Укр. геогр. журн. 2022. № 3. С. 11–20. [Українською мовою] DOI: <https://doi.org/10.15407/ugz2022.03.011>.
15. Їрба, О., et al. (2020). The use of QGIS in academic environment: Benefits and limitations. *Geoinformatics FCE CTU*, 19(1), 1–10.
16. Congalton, R. G., & Green, K. (2019). *Assessing the Accuracy of Remotely Sensed Data: Principles and Practices*. CRC Press.
17. Graser, A. (2016). *Learning QGIS*. Packt Publishing.
18. Hawker, L., Uhe, P., et al. (2022). FABDEM: A global 30 m resolution DEM with buildings and vegetation removed. European Geosciences Union General Assembly. Retrieved from: <https://fabdem.epic-lab.org>
19. QGIS Documentation. (2024). QGIS User Guide. Retrieved from: <https://docs.qgis.org/>
20. QGIS Documentation (2024). Heatmap Analysis. Retrieved from: <https://docs.qgis.org>.