

УДК 550.83

Людмила ШТОГРИН¹, Сергій АНІКЕЄВ², Едуард КУЗЬМЕНКО¹, Сергій БАГРІЙ¹¹Кафедра геотехногенної безпеки та геоінформатики, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, вул. Карпатська, 15, Івано-Франківськ, 76019, Україна, тел. +38(0342)504761, ел. пошта: gbg@nung.edu.ua.²Кафедра нафтогазової геофізики, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, вул. Карпатська, 15, Івано-Франківськ, 76019, Україна, тел. +380(342) 72-71-25, ел. пошта: geophys@nung.edu.ua.<https://doi.org/10.23939/jgd2021.01.065>

ВІДОБРАЖЕННЯ АКТИВНОСТІ ЗСУВНИХ ПРОЦЕСІВ У РЕГІОНАЛЬНИХ ГРАВІТАЦІЙНОМУ ТА МАГНІТНОМУ ПОЛЯХ (НА ПРИКЛАДІ ЗАКАРПАТСЬКОЇ ОБЛАСТІ)

Метою досліджень, представлених у цій статті, є аналіз особливостей відображення ураженості території Закарпатської області зсувними процесами в аномаліях магнітного та гравітаційного полів з урахуванням тектонічного районування. Дослідження є важливим етапом у прогнозуванні зсувних процесів, який спрямовано на зменшення їхніх негативних наслідків на довкілля. Актуальність досліджень зумовлена зростаючою активізацією зсувних процесів у Карпатському регіоні України. Методика. Розвиток зсувів у кожній структурно-тектонічній зоні має зв'язок із її тектонічною будовою, і тому зазначені процеси можуть мати різну інтенсивність, динаміку, тенденцію до подальшого розвитку та площу поширення. Літолого-фаціальний склад та умови залягання порід формують фізико-механічні властивості порід, визначаючи швидкість і механізм розвитку зсувів. Просторова приуроченість зсувних процесів до розломних зон знаходить своє відображення у гравітаційному та магнітному полях. Результати. За допомогою засобів ГІС MapInfo виконано розрахунок кількості зсувів у кожній тектонічній зоні, аномалій гравітаційного та магнітного полів, площ, що уражені зсувами, відстані до зон простягання розломів. Важливим результатом досліджень є доведення прямого зв'язку між просторовим розподілом зсувів і розломними зонами, тектонічною будовою, літологічним складом порід, які відображаються у гравімагнітних аномаліях. Наукова новизна. Розглянуто особливості відображення тектонічної будови, зон розушільнення, подрібненості порід та літологічного складу в гравімагнітних полях регіонального масштабу, а також вперше оцінено їхній зв'язок зі зсувними процесами. Практична значущість. Теоретичне обґрунтування особливостей поведінки гравімагнітних полів у зонах поширення зсувних процесів дозволяє оцінити природні умови формування та розвитку зсувів у цьому регіоні. Виявлені зв'язки між впливом розломних зон на зсувні процеси за їхнім відображенням у гравімагнітних полях, які можуть у майбутньому застосовуватись під час просторового прогнозування розвитку зсувів на територіях зі спорідненими структурно-тектонічними умовами.

Ключові слова: зсув, тектонічна зона, розломи, літолого-фаціальний склад, локальні аномалії гравітаційних і магнітних полів.

Вступ

Сьогодні ефективність застосування геофізичних методів при вивченні зсувів вважається доведеною. На наш погляд, у першу чергу треба зазначити фундаментальні дослідження співробітників ВСЕГІНГЕО (Всесоюзний науково-дослідний інститут гідрогеології та інженерної геології), які відображені у низці звітів та опублікованих працях, зокрема, в «класичній» монографії [Шеко і др., 1982]. В Україні геофізичні дослідження зсувів у значних об'ємах виконувались у Карпатському регіоні, в Криму, на Дніпровських схилах; вони пов'язані з іменами таких учених як М. Г. Демчишин, Г. І. Рудько, А. Ф. Безсмертний, О. М. Іванік, Е. Д. Кузьменко, В. Д. Чебан, Д. Н. Ляшук, М. І. Майко, О. К. Тяпкін [Демчишин, 1992; Рудько, 1991; Кузьменко та ін., 2009; Чебан, 2002; Тяпкін, 2002; Іванік, 2008; та ін.].

Застосування геофізичних методів для вивчення зсувних процесів має такі переваги: 1) визначення повної картини будови зсувної ділянки в просторі за рахунок виявлення особливостей геофізичних полів, що несуть інформацію про всю її структуру; 2) отримання інформації без порушення цілісності геологічного середовища; 3) можливість здійснювати у відносно короткі терміни поверхневі геофізичні дослідження з доволі густою мережею спостережень; 4) виявлення аномальних змін геофізичних полів у часі за умов забезпечення стислих термінів спостережень кожним із застосованих методів; 5) забезпечення високої точності та достовірної інтерпретації геофізичних аномалій; 6) незначними порівняно з іншими методами, затратами при вирішенні однакових задач.

При дослідженні зсувів на різних ділянках випробувались різноманітні геофізичні методи:

сейсмічний метод заломлених хвиль, метод вертикальних електричних зондувань, георадарне зондування, метод природного імпульсного електромагнітного поля Землі, метод природного електричного поля, гравіметрія, магнітометрія, еманційний метод. Спільною для всіх зазначених методів була та обставина, що вони застосовувались на окремих зсувних ділянках. На регіональному рівні при дослідженні численної кількості зсувів в літературі не відмічались спроби пов'язати особливості геофізичних полів з ураженістю територій зсувними процесами. У даній публікації така спроба здійснюється вперше для гравітаційного і магнітного полів.

Як відомо, територія України дуже потерпає від поширення зсувів та їхніх наслідків. Так, за даними Інформаційного щорічника щодо активізації небезпечних екзогенних геологічних процесів (ЕГП) на початок 2020 року в Україні налічується 22937 зсувів загальною площею 2140,9 км². Однією з найнебезпечніших у межах Карпатського регіону є територія Закарпатської області, де зареєстровано 3288 зсувопроявів площею 385,21 км², що становить 18 % від загальної площі зсувів в Україні.

Конкретним об'єктом досліджень, що представлені у статті, є аналіз приуроченості зсувних процесів до тектонічних порушень, які відображені у гравітаційному та магнітному полях. Територія досліджень – це Закарпатська область, яка в структурно-тектонічному відношенні поділяється на Закарпатський внутрішній прогин та Складчасті Карпати.

Мета

Метою досліджень, представлених у даній статті, є аналіз відображення ураженості зсувними процесами залежно від тектонічного районування в локальних аномаліях магнітного та гравітаційного полів. Актуальність досліджень пов'язується із зростаючою активізацією зсувних процесів у Карпатському регіоні України, тому дослідження умов їхнього розвитку є важливим етапом у розробці методики прогнозування з метою зменшення негативних наслідків зсувів на довкілля.

Вихідні дані

Опрацьована існуюча на сьогодні просторова база даних зсувів (ДНВП «Геоінформ України») за період з 1980 по 2001 рр. по Закарпатській області та Державна геологічна карта України, м-б 1:200000. Карпатська серія. Ужгородська група аркушів М-34-XXXV(Ужгород); L-34-V(Сату-Маре) [Державна..., 2003].

Для аналізу взаємозв'язків між поширенням зсувних процесів і тектонічними порушеннями, що відображаються в гравімагнітних полях [Нечаєва та ін. Схема..., 2002; Нечаєва та ін. Карта..., 2002], використані локальні аномалії поля сили

тяжіння та магнітного поля Українських Карпат та прилеглих прогинів, які розраховані С. Г. Анікеевим [Мончак, 2017].

Методика

Характеристика ураженості зсувами з ураженням тектонічного районування та відображення їх поширення у гравімагнітних полях

Розвиток зсувів у межах кожної структурно-тектонічної зони має зв'язок із її тектонічною будовою, де зсувопрояви мають різну інтенсивність, динаміку, тенденцію до подальшого розвитку і площу поширення (див. рисунок 1). Тектонічні зони встановлюють за літолого-фаціальним складом порід, оскільки саме він формує фізико-механічні властивості порід, визначаючи швидкість і механізм розвитку зсувів. За допомогою засобів ГІС MapInfo виконано побудову карти тектонічного районування з нанесенням контурів структурно-тектонічних зон та у межах тектонічних зон розраховано: 1) ураженість зсувними процесами; 2) площі локальних гравітаційних та магнітних аномалій; 3) сумарну довжину тектонічних порушень; 4) відстань від зсувів до найближчого тектонічного розлому; 5) відстань від зсувів до найближчої ріки. Крім того, як незалежні чинники розглядалися геоморфологічні характеристики – абсолютні відмітки, кут нахилу денної поверхні «голови» зсуву. Усі ці параметри дозволяють всебічно проаналізувати закономірності просторового розподілу поширення зсувів.

З фізичної точки зору, зв'язок ураженості територій зсувними процесами з особливостями морфології та інтенсивності локальних аномалій потенціальних геофізичних полів пояснюється, в основному, відображенням в геофізичних полях літологічних та тектонічних чинників.

Літофаціальний тип підстелених гірських порід варто вважати одним з найбільш суттєвих природних чинників розвитку зсувних процесів. Рухливі маси, що утворюються на поверхні підстилаючих порід, генетично пов'язані з ними. Окремі мінеральні, фізичні та літологічні характеристики поверхневих відкладів, що безпосередньо формують здатність до утворення зсувів, визначаються геологічними і фаціальними особливостями корінних порід.

З теоретичного погляду цей чинник пояснюється диференціацією характеристик міцності, що визначають стійкість схилу, для різних типів гірських порід. Загальний вигляд коефіцієнта стійкості схилу визначається за формулою

$$\eta = \frac{N \cdot \operatorname{tg} \varphi + C \cdot L}{T}, \quad (1)$$

де: η – коефіцієнт стійкості зсуву, N – складова сили тяжіння, що утримує зсув у рівновазі, $N = P \cdot \cos \alpha$; $\operatorname{tg} \varphi = f$ – коефіцієнт внутрішнього тертя порід, що утворюють поверхню ковзання або зону послаблення (основний деформуючий

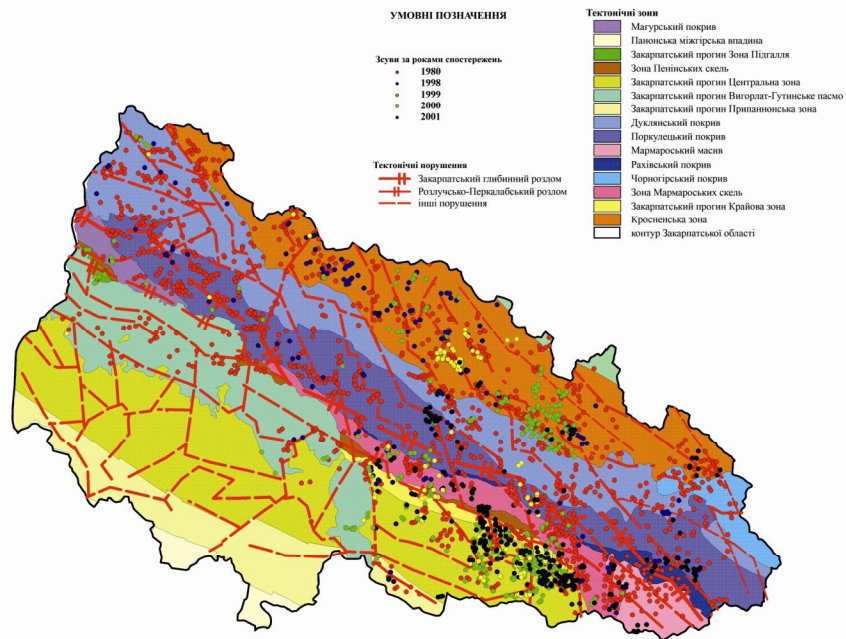


Рис. 1. Схема тектонічного районування Закарпатської області з нанесеними зсувами та тектонічними порушеннями

горизонт); C – зчеплення порід, що утворює поверхню ковзання або прилеглих до неї поверхонь; L – довжина поверхні ковзання; α – кут нахилу поверхні ковзання; T – складова сили тяжіння (загальної ваги порід P , що утворюють зсув) [Ломтадзе, 1977]. З літофаціями тут пов’язані параметри $\text{tg}\phi$ і C . Диференціація параметрів встановлюється експериментально. В таблиці 1 наведені зазначені параметри, які характерні для основних типів деяких порід [Кларк и др., 1969].

Аналіз таблиці свідчить, що найменші значення C і $\text{tg}\phi$ мають породи, які містять глинисті фракції. Цей факт підтверджується і іншими дослідниками, частина з яких більш категорична у висновках, і вважає, що зсуви притаманні лише для глинистих порід [Гошовський та ін., 2004, Кюнтцель, 1980]. У публікації [Ярг, 1974] здатними до утворення зсувів називаються глини, аргіліти, сланці та мергелі.

Гравітаційне поле відображає глибинні структури, розділяючи їх за щільністю. Середовищем розвитку зсувних процесів на території досліджень є осадові породи, в яких глинисті та піщано-глинисті фракції посідають вагоме місце. Оскільки щільність зазначених порід в літологічному ряду є мінімальною, то за рахунок цього чинника варто очікувати понижених значень поля сили тяжіння.

Разом із тим, треба взяти до уваги різну глибинність зсувних процесів (відповідно, пов’язаних з ними літологічних різновидів) та порід, яким відповідають аномалії поля сили тяжіння. Тобто, варто очікувати слабкої оберненої кореляції.

Таблиця 1

Характеристики міцності основних типів гірських порід

Порода	Межа міцності, бар	C , бар	$\text{tg}\phi$
Філіт	55	20	1.1
Пісковик	480	120	1.1
Сланець глинистий	30	80	2.1
Сланець глинистий кремнієвий	700	240	1.0
Алевроліт	115	28	1.3
Туф	15	5	0.9
Аргіліт	18	3,5	0.9
Конгломерат	210	180	1.4
Гранодіорит	1200	170	1.5
Базальт	680	320	1.2
Гнейс	630	110	1.3
Граніт	500	135	1.6
Вапняк	810	200	1.3

Щодо магнітного поля Землі, то його додатні локальні аномалії мають корелювати із зсувною активністю. Додатні аномалії магнітного поля, як правило, зумовлені впливом припіднятих блоків фундаменту, які облямовані товщами осадових порід, тобто сформованих таким чином структур. Геометрія схилу цих структур сприяє утворенню небезпечних зон щодо зсувних процесів.

Трансформації геофізичних полів дозволяють виокремити локальні аномалії, зумовлені різними глибинними структурами. Методика аналізу локальних аномалій передбачає зіставлення особли-

востей їхнього розподілу з даними буріння та структурно-тектонічними картами. Локальні аномалії розраховуються як різниця між спостереженим та осередненим полем і відображаються у вигляді ізометричних або видовжених аномалій певного напрямку. При цьому глибинність (h) джерел аномалій однакової форми та розмірів у гравітаційних і магнітних полях відрізняється. Щодо гравітаційних аномалій глибина досліджень приблизно рівна радіусу (R) осереднення поля сили тяжіння. Глибина джерел магнітних аномалій становить приблизно 1,2–1,4 глибинності залягання джерел гравітаційних аномалій [Анікеєв, та ін., 2019].

Якісна інтерпретація гравітаційного та магнітного полів на картах у рельєфно-тіньовому зображенні полягає у виявленні відображення геологічних структур та розломів у вигляді аномальних зон різної форми, інтенсивності та знаку. У публікації [Маєвський та ін., 2012] сформульовано перелік ознак геолого-тектонічних структур: 1) осі склепінь складок антиклінальних (синклінальних) структур проявляються вузькими смугами додатних (від'ємних) аномалій (структур)

з чіткими границями ділянок; 2) групи складок покриву, які виходять на поверхню, проявляються в аномальному полі у вигляді складного сполучення градієнтних зон і осьових ліній; 3) скидо-насуви в осадовому комплексі відображаються складними формами розгалужень смужок (зон розмежування аномалій одного знаку); 4) припідняті (опущені) блоки фундаменту, групи складок (або їхні крила) зі спокійним субгоризонтальним заляганням товщ гірських порід відрізняються світлими (темними) ізометричними або неправильної форми ділянками відносно спокійного поля; 5) глибинні розломи зі значною субвертикальною амплітудою відображаються як протяжні затемнені смуги (градієнтні зони), ланцюгом темних (світлих) видовжених ділянок-смуг, а смуги поперечного спрямування відображають поперечні розломи будь-якої природи.

Розглянемо характерні ознаки відображення тектонічних порушень, зон тріщинуватості, літологічного складу порід у гравітаційному (див. рис.2) та магнітному (див. рис. 3) полях території досліджень.

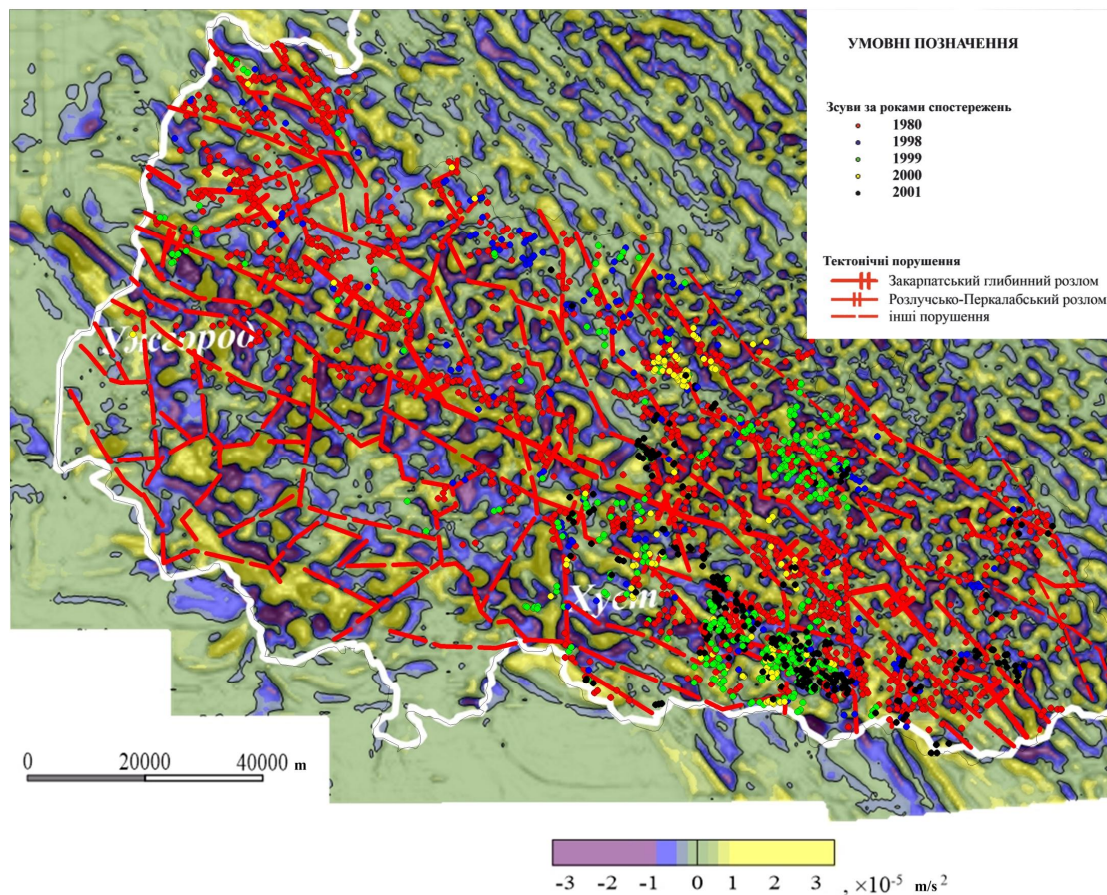


Рис. 2. Карта локальних аномалій поля сили тяжіння (радіус осереднення 2500 м) [С. Г. Анікеєв, 2017] з урахуванням поширення зсувних процесів у межах Закарпатської області

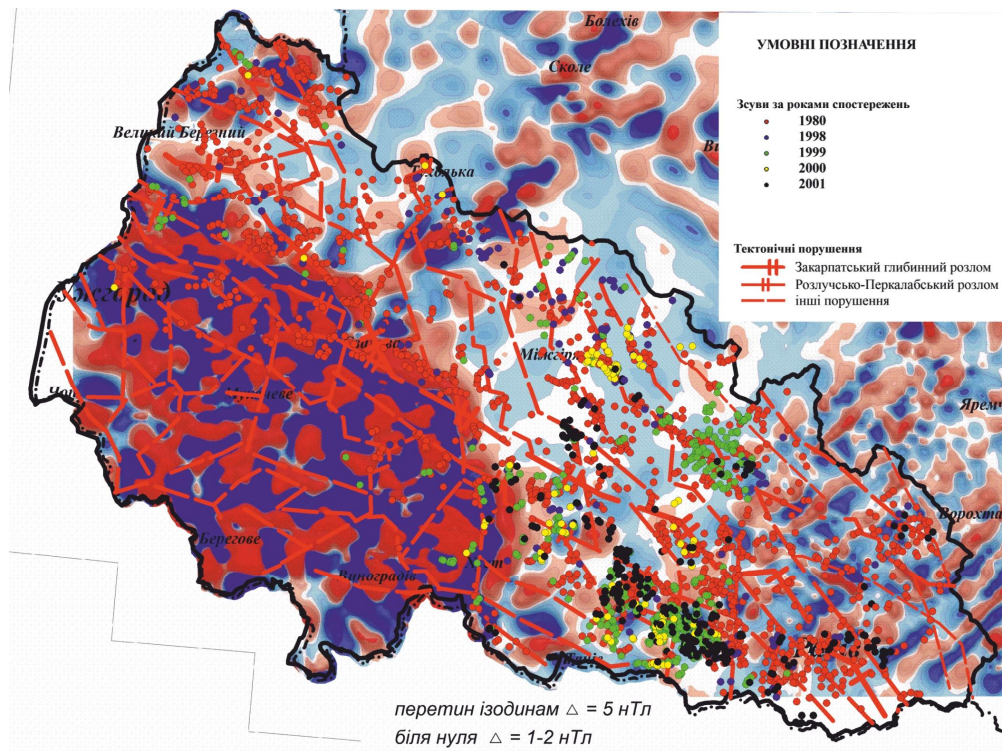


Рис. 3. Карта локальних аномалій магнітного поля Українських Карпат (радіус осереднення 5000 м)

[С. Г. Анікеєв, 2019] з урахуванням поширення зсувних процесів у межах Закарпатської області

Карпати – це складна гірська система, в будові якої переважають флішові відклади, їх прийнято розділяти на Внутрішні, які сформувалися у допізнькрейдовий час і Зовнішні (флішові), які є продуктом заключного крейдо-палеогенового етапу розвитку Карпатської геосинкліналі.

У Зовнішніх Карпатах на поверхню виходять виключно крейдово-нижньоміоценові відклади флішової формації загальною потужністю до 10 км, вони розбиті на окремі блоки (луски) тектонічними порушеннями, що відіграло основну роль в формуванні сучасного рельєфу, орієнтації схилів, визначенні напряму гідрографічної мережі, геоморфології долин [Державна, 2003].

Тонкоритмічна крейдово-теригенна флішова товща зі складчасто-лусковою будовою та підвищеною тріщинуватістю сприяли інтенсивному розвитку процесів вивітрювання та утворення потужних товщ елювіально-делювіальних відкладів, які є середовищем розвитку екзогенних геологічних процесів, зокрема зсувів [Рудько, 1991, 2002].

У межах Закарпатської області Зовнішні Карпати згідно тектонічного районування поділяються на такі тектонічні одиниці: Кросненська зона та покриви: Дуклянський, Поркулецький, Чорногірський, Магурський, Рахівський.

Щоб визначити наскільки тектонічна зона охоплена зсувними процесами, використовувався «коефіцієнт ураженості» K_i , який характеризує схильність території до розвитку зазначених процесів:

$$K_i = \frac{S_i}{\sum S_i}, \quad (2)$$

де S_i – площа зсувів у межах тектонічної зони; $\sum S_i$ – площа тектонічної зони.

Проаналізуємо ураженість зсувними процесами в межах окремих структурно-тектонічних одиниць з урахуванням розподілу локальних аномалій гравімагнітних полів, а також геологічної будови регіону [Державна..., 2003].

Кросненська зона не має покривного стилю, що пов'язується з її депресійним розвитком в олігоцені та ранньому міоцені. Синклінальні структури північно-західної частини Кросненської зони значно ширші за антиклінальні, їх центральні частини заповнені найбільш молодими відкладами олігоцену, які залягають полого. Південно-західні крила синкліналей відрізняються досить крутим заляганням. Складена Кросненська зона потужною товщею піщано-глинистого флішу з прошарками пісковиків, мергелів, вапняків, поширені горизонти олістолітів,

на заході зони зустрічаються товщі строкатих глин. В основному характеризується додатним гравітаційним полем інтенсивністю до $2 \cdot 10^5$ м/с² та від'ємним магнітним полем середньої інтенсивності від 5 до до 15 нТл. Стиль тектоніки покривно-лусковий, ширина лусок від 0,5 до 4–5 км, які простягаються у північно-східному напрямку, залягання лусок доволі круте на поверхні (45–80°). У внутрішній будові лусок переважають круті антиклінали, зустрічаються луски-моноклінали, крила яких ускладнені складками і поздовжніми розривами, що сприяє підвищеній тріщинуватості. Антиклінальна внутрішня будова лусок, круте залягання лусок, поширення горизонтів олістолітів свідчить про літологічний контакт гірських порід і добре проявляється у від'ємних гравітаційних аномаліях ізометричної форми інтенсивністю до $-3 \cdot 10^5$ м/с². Більшість зсувів розвиваються на схилах і за механізмом зміщення відносяться до блокових і зсувів течії з такими характеристиками. Зареєстровано 588 зсувів, коефіцієнт ураженості складає 0,03. Середні характеристики зсувів: абсолютні відмітки 632,5 м, потужність зсувних відкладів 11,8 м, середні розміри 302,7×268 м, крутизна схилів 26,8°.

Далі на південному заході простягається Дуклянський покрив, який належить до найскладніших за внутрішньою структурою і представляє собою багатоярусну складчасто-лускувату споруду. Внутрішня будова лусок складна, відзначається дрібна складчастість, перем'яті породи. У фронтальній частині на поверхню виходять найдревніші породи крейдового віку, крила і тилові частини лусок складають палеоген-неогенові відклади. У тонкоритмічному олігоценічному піщано-глинистому фліші часто зустрічаються гострокутні уламки пісковиків, строкатих аргілітів розміром від дециметрів до кілометра, кількість уламків становить 40–60 % породи, що свідчить про значну розчленованість гірських порід. Фліш представлений чергуванням пісковиків з тонкими прошарками аргілітів з підпорядкованим значенням мергелів. Порівняно з іншими елементами флішових Карпат має зворотну вергентність окремих насувів. На фоні загального гравітаційного поля додатного знаку відображаються від'ємні аномалії ізометричної форми різного напрямку інтенсивністю до $-3 \cdot 10^5$ м/с², що відображає значну розчленованість та тріщинуватість порід. Найбільше зсувів зареєстровано на північному заході та на сході покриву, які найбільш покриті тектонічними порушеннями карпатського простягання. Зареєстровано 296 одиниць з такими середніми характеристиками: абсолютні відмітки 576 м, потужність зсувних відкладів 14 м, середні розміри зсувів 461×355 м, крутизна схилів 25°. Коефіцієнт ураженості становить 0,03.

Поркулецький покрив теж характеризується покривно-лусковим стилем тектоніки. Переважає тонкоритмічний еоценовий піщано-глинистий та піщаний фліш. Флішові товщі занурюються в протилежному напрямі відносно Кросненської зони з південного сходу на північний захід, тобто, якщо на південному сході покрив складається з порід виключно нижньо-крейдового віку, то в північно-західній його частині переважають відклади палеогену. Поширені дрібні складки, ускладнені розривними порушеннями, що сприяє процесам тріщинуватості та дроблення гірських порід. Лускова будова та розломні зони відображаються різкими градієнтними зонами гравітаційного поля з розмахом інтенсивності від $-3 \cdot 10^5$ м/с² до $3 \cdot 10^5$ м/с², аномалії магнітного поля зменшують свою інтенсивність від 20 нТл в напрямку із північного заходу (зона контакту з ефузивними породами Вигорлат-Гутинського пасма) на південний схід до 10 нТл (контакт з Рахівським покривом). Зареєстровано 431 зсувів, переважно блокового ковзання, з такими характеристиками: абсолютні відмітки 512,7 м, потужність відкладів 14 м, середні розміри зсувів 426,5×321,3 м, крутизна схилів 24,7°. Коефіцієнт ураженості складає 0,035.

Чорногірський покрив тільки частково захоплює незначну площу Закарпаття в південно-східній його частині. Простягання лусок співпадає з загальним простяганням зони. Переважають щільнодислоковані крейдові відклади, які формують широку пологу, ускладнену дрібними складками синкліналь, утворену тонкоритмічним аргіліто-піщаним флішем з перешаруванням потужних пачок пісковиків. Основна маса флішових відкладів – тонкошаруваті плитчасті невапнякові аргіліти. Чорногірський покрив є найвище піднятим гірським масивом у межах Українських Карпат, схили круті. В гравітаційному полі переважають додатні аномалії, що характеризують високогірний масив, у магнітному – від'ємні. На його території зареєстровано 24 блокових зсувів з такими характеристиками: абсолютні відмітки 991,8 м, потужність відкладів 22 м, середні розміри зсувів 692×517 м, крутизна схилів 26,7°. Коефіцієнт ураженості становить 0,023.

Магурський покрив у межах Закарпатської області – це клиноподібний виступ, який відділяється від Дуклянського покриву розломною зоною і складений породами палеоценового та еоценового піщано-глинистого флішу. Загальний стиль тектоніки – повздовжні луски, розділені круглими насувами в північно-східному напрямку. Внутрішня структура – складчасто-луската, у складі переважають відклади палеоцену та еоцену, що утворюють антиклінальні та синклінальні складки з падінням порід 20–70°. Харак-

теризується, в основному, додатним гравітаційним до $3 \cdot 10^5 \text{ м/с}^2$ та від'ємним магнітним полем -20 нТл . Переважна більшість зсувів за механізмом зміщення належать до пластичних, характеризуються такими параметрами: абсолютні відмітки $323,3 \text{ м}$, потужність відкладів м , середні розміри зсувів $233 \times 199 \text{ м}$, крутизна схилів $25,2^\circ$.

Рахівський покрив у вигляді смуги простягається між Мармароським та Чорногірським покривами і полого насунутий на більш зовнішні елементи флішових Карпат. Поширені потужні флішові товщі темнобарвних теригенно-карбонатних утворень та окремі невеликі лінзи базальтоїдів та вапняків, зібрані в дрібні сильно дислоковані складки. Характерний гірський рельєф з сіткою тектонічних порушень, які відображаються градієнтною зоною гравітаційного поля лінійного простягання з інтенсивністю поля від $-3 \cdot 10^5 \text{ м/с}^2$ до $2 \cdot 10^5 \text{ м/с}^2$ та магнітною аномалією до 15 нТл . Коефіцієнт ураженості за площею зсувів становить $0,07$. Зареєстровано 27 зсувів переважно блокового ковання з такими характеристиками: абсолютні відмітки $649,2 \text{ м}$, потужність відкладів 15 м , середні розміри зсувів $646 \times 496 \text{ м}$, крутизна схилів 30° .

Внутрішні Карпати на території України майже повністю перекриті молодими породами Закарпатського неогенового прогину і на денну поверхню виходять лише їх зовнішні елементи: зона Мармароських скель, Мармароський масив і зона Пенінських скель.

Зона Мармароських скель невелика за площею, але має дуже складну будову. Характерна її особливість – розвиток седиментаційних олістолітів у товщі піщано-глинистих порід, що є результатом руйнування катастрофічних обвалів і зсувів крупних блоків доаптських відкладів, які займали до денудації положення між сучасною областю їх поширення та Флішовими Карпатами. Зона складена палеогеновими відкладами у вигляді конгломератів, пісковиків і строкатих мергельно-глинистих порід, чорними аргілітами та мергелями. Загалом, зона Мармароських скель відображається додатним гравітаційним полем, на фоні якого відображається смуга перервних ізометричних аномалій від'ємного знаку до

$-3 \cdot 10^5 \text{ м/с}^2$, що є свідченням зон підвищеної тріщинуватості, викликаної олістолітами та тектонічними порушеннями. Територія дуже уражена зсувами – коефіцієнт ураженості $0,05$. Зареєстровано 220 зсувів: абсолютні відмітки $486,6 \text{ м}$, потужність відкладів 10 м , середні розміри зсувів $398,5 \times 228,6 \text{ м}$, крутизна схилів $23,3^\circ$.

Мармароський масив насунутий на північ, на Флішові Карпати. В області його зчленування з флішовими комплексами розташована неширока

контактна зона тектонічних блоків, для яких характерна автономність розвинутих, метаморфічних і осадових порід, складених переважно, сланцями, кварцитами, місцями вапняками та пісковиками. Зверху з різким неузгодженням залягають карбонатно-теригенні товщі з потужними верхньоюрськими ефузивами. Така будова чітко проявляється в додатному гравітаційному до $3 \cdot 10^5 \text{ м/с}^2$ та магнітному полях з інтенсивністю до 15 нТл . Коефіцієнт ураженості $0,08$. Зареєстровано 55 зсувів блокового типу з такими характеристиками: абсолютні відмітки $679,3 \text{ м}$, потужність відкладів $17,4 \text{ м}$, середні розміри зсувів $398,5 \times 228,6 \text{ м}$, крутизна схилів $28,9^\circ$.

Зона Пенінських скель – це вузька природна межа між крейдовим і палеогеновим флішом Зовнішніх Карпат та моласами Закарпатського прогину. Найголовніша особливість Пенінських скель – велика роздробленість усіх без винятку осадових комплексів. Це зона гігантської брекчії, яка знаходиться також у тектонічному співвідношенні із сусідніми структурними одиницями. Характеризується надзвичайно широким розвитком малоамплітудних розломів і густою системою зон дроблення, що простежується в різних градієнтних зонах гравітаційного поля до

$-3 \cdot 10^5 \text{ м/с}^2$. Палеогенові флішові товщі, що залягають на крейдових відкладах зі вм'ятими в них брилами більш древніх порід, утворюють крупні структури багатоповерхових покривів, і залягають один над іншим по похилих поверхнях насувів. Зареєстровано 22 зсуви: абсолютні відмітки $529,2 \text{ м}$, потужність відкладів $5,7 \text{ м}$, середні розміри зсувів $217,8 \times 160,8 \text{ м}$, крутизна схилів $24,6^\circ$. Коефіцієнт ураженості $0,08$.

Закарпатський внутрішній прогин обмежений глибинними розломами: на північному сході – Закарпатським, на південному заході – Припаннонським, які відображаються різкими градієнтними зонами гравітаційного поля. Літологічний контакт порід виділяється перехідною зоною між аномаліями різних знаків (амплітуда гравітаційного градієнта в досліджуваній зоні змінюється від -3 до $3 \cdot 10^5 \text{ м/с}^2$) і відображає границю між Зовнішніми Карпатами (зони Мармароських та Пенінських скель) і Внутрішніми Карпатами (Закарпатський внутрішній прогин). В полі локальних магнітних аномалій розломи відображаються від'ємними аномаліями.

Прогин складений потужним комплексом неогенових молас, дислокованими у пологі складки, ускладненими місцями соляними штоками та вулканогенними утвореннями. За структурою осадового чохла з північного сходу на південний захід виділяють зони: Крайову (моноклінальну), Центральну (соляно-діапірову з брахіскладками) і Припаннонську.

Накладним елементом прогину є Вигорлат-Гутинське пасмо шириною 20–25 км, складене потужною товщею порід вулканічної формації неогенового віку, що вилилися ефузивами, андезитами, андезито-базальтами, ліпаритами та їх туфами і перекриті товщею (до 10 м) елювіально-делювіальних відкладів – суглинками жовтуватобуруго кольору, що містять значну частину подрібненого і перевідкладеного вулканічного матеріалу. Товща інтенсивно роздроблена різноманітно орієнтованими розривними порушеннями і ускладнена вторинною складчастістю субмеридіального напрямку [Рудько та ін., 1999]. Вигорлат-Гутинське пасмо своєю ділянкою меридіального напрямку розділяє Центральну зону Закарпатського прогину на Мукачівську та Солотвинську западини. Остання характерна тим, що на її поверхні присутні переважно баденські та частково сарматські відклади, а в її розрізі поширені соленосні породи.

Вулканічні породи (андезити, базальти та їх туфи) хребта відображаються сильними аномальними зонами додатного знаку як у гравітаційному (до $3 \cdot 10^{-5} \text{ м/с}^2$) так і в магнітному полях (до 20 нТл). Від'ємні гравітаційні аномалії ізометричної форми вказують контакт порід різного літологічного складу і зосереджені в пониженнях рельєфу (240–360 м) пов'язані з алювіальними відкладами (галькою з домішками гравію, піску та глини) долин річок. Більшість зсувів розвиваються на схилах річок і в зоні впливу тектонічних порушень. Зареєстровано 91 зсув переважно блокового типу: абсолютні відмітки 407,8 м, потужність відкладів 16,5 м, середні розміри зсувів $402 \times 361 \text{ м}$, крутизна схилів $19,6^\circ$. Коефіцієнт ураженості 0,014.

Крайова зона розташована на північному сході прогину. Фундамент складається з метаморфічних сланців, тріасових, юрських та крейдових відкладів, а також з флішових відкладів. Глибина фундаменту збільшується в напрямку із заходу на південний схід – від 53 м до 1000 м. Припаннонський розлом виділяється різким градієнтом сили тяжіння і розділяє Крайову зону та Припаннонську. У Крайовій зоні прогину переважає гравітаційне поле додатного знаку, що пояснюється присутністю низки похованих стратовулканів в будові яких присутні штоки андезитових порфіритів або куполи андезитів. Додатні гравітаційні аномалії ізометричної форми, центральна частина яких утворена ланцюгом більш інтенсивних до $3 \cdot 10^{-5} \text{ м/с}^2$ аномалій овальної форми з діаметром 5–10 км. Присутність вулканічних порід також відображається в додатному полі магнітних аномалій інтенсивністю до 15 нТл. Зареєстровано 80 зсувів: абсолютні відмітки 462,5 м, потужність

відкладів 6,75 м, середні розміри зсувів $80 \times 221 \text{ м}$, крутизна схилів 24° . Коефіцієнт ураженості 0,04.

У Центральній зоні фундамент складений метаморфізованими вулканогенними та крейдово-теригенними відкладами і опущений по розломах на глибину від 2200 до 3400 м. Загальна структура фундаменту блокова. Поширені і солянодіапірові і брахіантиклінальні складки, до яких приурочені ефузивні й інтрузивні неогенові вулканічні утворення. Розмір складок співвимірний з вулканоструктурами, а простягання – близьке до карпатського і лише в деяких прирозломних структурах – антикарпатське. Смуга стратовулканів виділяється в гравітаційному полі додатними аномаліями ізометричної форми, в центрі яких проявляються інтенсивніші значення $2 \cdot 3 \cdot 10^{-5} \text{ м/с}^2$, аналогічно вони відображаються в аномаліях магнітного поля до 20 нТл. Антиклінальні складки навколо вулкан острокрестовидні виділяються ізометричними аномаліями карпатського простягання з пониженим гравітаційним полем до $-2 \cdot 10^{-5} \text{ м/с}^2$ та магнітними аномаліями -20 нТл. Зареєстровано 470 зсувів, які, в основному, розвиваються на гірських схилах та долинах річок: абсолютні відмітки 464,5 м, потужність зсувних відкладів 5,6 м, середні розміри зсувів $238 \times 181 \text{ м}$, крутизна схилів $25,3^\circ$. Коефіцієнт ураженості 0,012.

Зона Підгалля складена породами палеогенового флішу, перекритими вулканічними відкладами Вигорлат-Гутинського пасма і на денну поверхню виходить у межах незначної за площею ділянки в північно-західній частині прогину. Посередині, в напрямку із заходу на схід, зону перетинає Припаннонський розлом, що відображається різкими градієнтними зонами гравітаційного поля (від $-3 \cdot 10^{-5} \text{ м/с}^2$ до $3 \cdot 10^{-5} \text{ м/с}^2$) та від'ємними аномаліями магнітного поля. Зареєстровані поодинокі зсуви: абсолютні відмітки 380 м, потужність відкладів 3,8 м, середні розміри зсувів $93,8 \times 65 \text{ м}$, крутизна схилів $16,3^\circ$.

Приуроченість зсувних процесів до розломних зон

Тектонічний чинник у літературних дже-релах присвячених вивченню зсувів зазначається як один із найвпливовіших [Емельянова, 1978; Шеко и др., 1999].

З нашої точки зору, тенденція зв'язку просторового розподілу зсувів з тектонічними порушеннями пояснюється, насамперед, розвитком зон тріщинуватості, які при активізації зсувів реалізуються через два основних чинники: 1) послаблення стійкості верхнього шару геологічного середовища внаслідок зменшення кута внутрішнього тертя та зчеплення гірських порід; 2) утворення водоносних горизонтів та інтенсифікація фільтрації підземних вод уздовж схилів.

Зони розломів представляють собою геодинамічні системи, які постійно знаходяться у напруженому стані (поєднання процесів стиснення і розтягу). Над ними можуть формуватись перекивні структури, проте вони все одно залишаються зонами тріщинуватості, інтенсивного дроблення порід, підвищеної проникності, що сприяє зменшенню стійкості порід верхніх шарів геологічного середовища.

Як зазначається у [Михайлов, 2002], «на відміну від поверхневих структур глибинні розломи формують потужні зони завширшки від кілометрів до десятків кілометрів». Подібні зони називають зонами «динамічного впливу розломів» [Шерман и др., 1983], і в таких зонах розподіл тріщин має широкий діапазон розмірів та напрямків, утворення яких залежить від глибини, властивостей порід, гідрологічних та тектонічних умов (стиск, розтяг), величини накопичених напружень, що перевищують міцність порід в околицях розлому [Guiju et al., 2015; Castro et al., 2012; Nurwidyanto et al., 2019; Sungchan et al., 2020].

Загальним геодинамічним режимом регіону є стиск у антикарпатському (південний захід – північний схід) напрямку з підняттям на 1–2 мм/рік денної поверхні. [Назаревич та ін., 2013]. Особливістю даного регіону є інтенсивна дислокованість, наявність розломів різних напрямків і порядків. Основним розломом є Закарпатський, для якого характерна блокова структура, висока рухливість та контрастність коливальних рухів, ширина зони впливу коливається від декількох сотень метрів до 5–5,5 км [Максимчук та ін., 2014].

У таблиці 2 наведено співвідношення між кількістю зсувопроявів та відстанню до найближчого розлому у межах структурно-тектонічних одиниць. Як бачимо, існує пряма залежність: більшість зсувних процесів розвиваються в радіусі до 2,5 км – у першу чергу, це притаманно для Чорногірського, Рахівського покривів, зон: Пенінських скель, Підгалля, Припаннонської (90–100 % зсувів). Для решти зон – частка розвитку зсувів становить від 65 до 87 %.

Оскільки геолого-геофізична інформація носить ймовірнісний характер, то для аналізу та обробки даних застосовують статистичні методи, які поділяються на параметричні і непараметричні. Однією з умов застосування параметричних методів є нормальний розподіл досліджуваних даних, для непараметричних методів – ця умова не обов'язкова. Перевірка на нормальний розподіл виконувалась за допомогою тесту Шапіро-Уїлка і засвідчила, що нормальний закон характерний для параметрів: «абсолютна відмітка», «кут нахилу денної поверхні «голови зсуву», «відстань до ріки»; решта параметрів – «сумарна довжина розломів», «відстань до розломів», «площі гравімагнітних аномалій» розподілені за логнормальним законом або законом Вейбула. Якщо вибірка не описується нормальним законом розподілу, середні значення використовувати некоректно, оскільки на них сильно впливають крайні значення елементів вибірки. В таких випадках найкраще характеризує вибірку медіана (значення параметра, праворуч і ліворуч якого знаходиться рівна кількість спостережень), для нормально розподілених величин значення медіани і середнього є близькими (див. табл. 3).

Таблиця 2

Приуроченість зсувів до розломних зон із урахуванням тектонічного районування

Тектонічна зона	Кількість зсувів	Відстань від зсувів до розломних зон		
		1,5 км	2,5 км	3,5 км
кількість зсувів/відсоток від загальної кількості зсувів у тектонічній зоні				
Зовнішні Карпати				
Кросненська зона	588	250/42.5 %	385/65.5 %	495/84.2 %
Дуклянський покрив	296	120/40.5 %	189/63.9 %	252/85.1 %
Чорногірський покрив	24	16/66.7 %	23/95.8 %	24/100 %
Поркулецький покрив	431	196/45.5 %	287/66.6 %	367/85.2 %
Магурський покрив	18	9/50 %	12/66.6 %	15/83.3 %
Рахівський покрив	27	17/40.7 %	25/92.6 %	27/100 %
Внутрішні Карпати				
Зона Мармароських скель	220	118/53.6 %	158/71.8 %	184/83.6 %
Зона Пенінських скель	22	19/86.6 %	22/100 %	
Мармароський масив	55	37/67.3 %	48/87.3 %	52/94.5 %
Зона Підгалля	4	3/75 %	4/100 %	
Вигорлат-Гутинське пасмо	91	54/61.5 %	79/72.5 %	83/80.2 %
Центральна зона	470	179/39.8 %	287/62.8 %	386/80.2 %
Крайова зона	80	35/41.7 %	65/77.4 %	74/88.1 %
Припаннонська зона	18	14/77.8 %	18/100 %	

Таблиця 3

Значення медіани досліджуваних параметрів відповідно до тектонічного районування

Тектонічна зона	Площа зони, км ²	Площа зсувів, км ²	К-сть зсувів	Сумарна довжина розломів, км	Відстань до ріки, км	Відстань до розломів, км	Абсолют. відмітка «голови» зсуву, м	Кут нахилу денної поверхні «голови» зсуву, град.	Площа від'ємних гравітаційних аномалій, км ²	Площа додатних магнітних аномалій, км ²
Зовнішні Карпати										
Кросненська зона	2500.4	72.72	588	337.6	0.22	1.73	637.5	26.9	31.51	42.61
Дуклянський покрив	1938	59.11	296	296.5	0.28	1.8	575	25.8	28.36	33.13
Чорногірський покрив	505.6	12.11	24	59.3	0.29	1	880	26.7	6.7	5.8
Поркулецький покрив	1885.9	68.36	431	332.3	0.3	1.67	445	24.7	27.6	43.24
Магурський покрив	158.2	0.77	18	31.3	0.22	1.48	280	25.2	0.37	0.45
Рахівський покрив	138	9.79	27	24.6	0.42	0.91	665	30	5.15	5.83
Внутрішні Карпати										
Зона Мармароських скель	521.5	28.12	220	90.3	0.27	1.67	460	29.1	10.3	19.7
Зона Пенінських скель	97.3	1.66	22	20.4	0.25	0.72	472.5	24.6	0.36	0.8
Мармароський масив	279.9	22.48	55	53.2	0.46	1.12	675	28.9	19.1	12.8
Зона Підгалля	15.6	0.08	4	4.5	0.33	0.80	458.6	16	0.03	0.02
Вигорлат-Гутинське пасмо	1429.3	14.85	91	240.5	1.04	0.38	350	19.6	9.99	10.6
Центральна зона	2558.9	31.21	470	414.4	0.31	1.96	420	25.3	16	20.2
Крайова зона	171.2	7.87	80	4.2	1.69	0.29	421.3	24	4.1	4.37
Припаннонська зона	910.2	2.78	18	120.4	0.27	0.77	447.5	20.4	2.4	1.38

Для визначення структури просторових взаємозв'язків між поширенням зсувів і розглянутими параметрами застосуємо факторний аналіз, за допомогою якого можна виділити групи незалежних чинників, які насправді є власними векторами кореляції даних і дослідити їхню дію та інтенсивність впливу на процеси утворення зсувів.

Факторний аналіз виконувався з обертянням координатних осей методом варімакс, який дозволяє отримати матрицю навантажень на кожен фактор таким чином, щоб вони відрізнялися максимально між собою.

Аналіз отриманих результатів показав, що найбільшою інтенсивністю характеризуються чотири параметри – «сумарна довжина розломних зон», «відстань до розломів», «площі від'ємних гравітаційних» та «додатних магнітних аномалій», які прямо корелюють з фактором 1 і мають найбільшу частку загальної дисперсії – 0,42 (див. табл. 4). Це вказує на те, що вони відображають один процес, у даному випадку, можна припустити, що фактор 1 – це поширення зсувних процесів. Ці чотири параметри відіграють вагомую роль, оскільки вони характеризують загальну тріщинуватість та подрібненість гірських порід у радіусі впливу тектонічних порушень.

Таблиця 4

Матриця факторних навантажень на досліджувані параметри

Факторні характеристики	Фактор 1	Фактор 2
Сумарна довжина розломів, км	0.862	-0.138
Відстань до ріки, км	-0.222	-0.728
Відстань до розломів, км	0.720	0.535
Абсолютна відмітка зсуву, м	-0.075	0.635
Кут нахилу денної поверхні зсуву, град	0.023	0.853
Площа від'ємних гравітаційних аномалій, км ²	0.922	0.088
Площа додатних магнітних аномалій, км ²	0.889	0.095
Частка загальної дисперсії	0.42	0.28

Фактор 2 показує вплив рельєфу на розвиток зсувів і визначається зв'язком параметрів: «абсолютна відмітка «голови» зсуву», «кут нахилу денної поверхні «голови» зсуву» та «відстань до ріки». Обернена кореляція параметра «відстань до ріки» із поширенням зсувів свідчить про те, що вони розвиваються далеко від річок і не лише під впливом просторових умов: геологічної, текто-

Таблиця 3

Значення медіани досліджуваних параметрів відповідно до тектонічного районування

Тектонічна зона	Площа зони, км ²	Площа зсувів, км ²	К-сть зсувів	Сумарна довжина розломів, км	Відстань до ріки, км	Відстань до розломів, км	Абсолют. відмітка «голови» зсуву, м	Кут нахилу денної поверхні «голови» зсуву, град.	Площа від'ємних гравітаційних аномалій, км ²	Площа додатних магнітних аномалій, км ²
Зовнішні Карпати										
Кросненська зона	2500.4	72.72	588	337.6	0.22	1.73	637.5	26.9	31.51	42.61
Дуклянський покрив	1938	59.11	296	296.5	0.28	1.8	575	25.8	28.36	33.13
Чорногірський покрив	505.6	12.11	24	59.3	0.29	1	880	26.7	6.7	5.8
Поркулецький покрив	1885.9	68.36	431	332.3	0.3	1.67	445	24.7	27.6	43.24
Магурський покрив	158.2	0.77	18	31.3	0.22	1.48	280	25.2	0.37	0.45
Рахівський покрив	138	9.79	27	24.6	0.42	0.91	665	30	5.15	5.83
Внутрішні Карпати										
Зона Мармароських скель	521.5	28.12	220	90.3	0.27	1.67	460	29.1	10.3	19.7
Зона Пенінських скель	97.3	1.66	22	20.4	0.25	0.72	472.5	24.6	0.36	0.8
Мармароський масив	279.9	22.48	55	53.2	0.46	1.12	675	28.9	19.1	12.8
Зона Підгалля	15.6	0.08	4	4.5	0.33	0.80	458.6	16	0.03	0.02
Вигорлат-Гутинське пасмо	1429.3	14.85	91	240.5	1.04	0.38	350	19.6	9.99	10.6
Центральна зона	2558.9	31.21	470	414.4	0.31	1.96	420	25.3	16	20.2
Крайова зона	171.2	7.87	80	4.2	1.69	0.29	421.3	24	4.1	4.37
Припанноньська зона	910.2	2.78	18	120.4	0.27	0.77	447.5	20.4	2.4	1.38

Для визначення структури просторових взаємозв'язків між поширенням зсувів і розглянутими параметрами застосуємо факторний аналіз, за допомогою якого можна виділити групи незалежних чинників, які насправді є власними векторами кореляції даних і дослідити їхню дію та інтенсивність впливу на процеси утворення зсувів.

Факторний аналіз виконувався з обертянням координатних осей методом варімакс, який дозволяє отримати матрицю навантажень на кожен фактор таким чином, щоб вони відрізнялися максимально між собою.

Аналіз отриманих результатів показав, що найбільшою інтенсивністю характеризуються чотири параметри – «сумарна довжина розломних зон», «відстань до розломів», «площі від'ємних гравітаційних» та «додатних магнітних аномалій», які прямо корелюють з фактором 1 і мають найбільшу частку загальної дисперсії – 0,42 (див. табл. 4). Це вказує на те, що вони відображають один процес, у даному випадку, можна припустити, що фактор 1 – це поширення зсувних процесів. Ці чотири параметри відіграють вагомую роль, оскільки вони характеризують загальну тріщинуватість та подрібненість гірських порід у радіусі впливу тектонічних порушень.

Таблиця 4

Матриця факторних навантажень на досліджувані параметри

Факторні характеристики	Фактор 1	Фактор 2
Сумарна довжина розломів, км	0.862	-0.138
Відстань до ріки, км	-0.222	-0.728
Відстань до розломів, км	0.720	0.535
Абсолютна відмітка зсуву, м	-0.075	0.635
Кут нахилу денної поверхні зсуву, град	0.023	0.853
Площа від'ємних гравітаційних аномалій, км ²	0.922	0.088
Площа додатних магнітних аномалій, км ²	0.889	0.095
Частка загальної дисперсії	0.42	0.28

Фактор 2 показує вплив рельєфу на розвиток зсувів і визначається зв'язком параметрів: «абсолютна відмітка «голови» зсуву», «кут нахилу денної поверхні «голови» зсуву» та «відстань до ріки». Обернена кореляція параметра «відстань до ріки» із поширенням зсувів свідчить про те, що вони розвиваються далеко від річок і не лише під впливом просторових умов: геологічної, текто-

нічної будови, літологічного складу, типу рельєфу, ступеня зруйнованості верхнього шару порід, але й, значною мірою, зумовлюються зовнішніми впливами – аномальними значеннями атмосферних опадів [Shtohryn et al., 2020]. Як бачимо, геоморфологічні параметри мають набагато меншу частку загальної дисперсії (0,28), тому їх вплив не є визначальним. Отже, два фактори пояснюють 70 % загальної дисперсії.

Таким чином, підтверджений прямий просторовий зв'язок між поширенням зсувів і розміщенням зон тектонічних порушень, які однозначно відображаються у гравімагнітних полях. Це пояснюється впливом покривно-лускового стилю тектоніки, коли породи розділені крутими насувами, ускладнені повздовжніми розривами, розломами.

Наукова новизна

Розглянуто особливості відображення тектонічної будови, зон розуцільнення, подрібненості порід та літологічного складу в гравімагнітних полях регіонального масштабу, а також вперше оцінено їхній зв'язок із зсувними процесами.

Практична значущість

Теоретичне обґрунтування особливостей поведінки гравімагнітних полів у зонах поширення зсувних процесів дозволяє оцінити природні умови формування та розвитку зсувів у даному регіоні. Виявлені зв'язки між впливом розломних зон на зсувні процеси за їхнім відображенням у гравімагнітних полях, які можуть у майбутньому застосовуватись під час просторового прогнозування розвитку зсувів на територіях зі спорідненими структурно-тектонічними умовами.

Висновки

Отже, в результаті виконаних досліджень можна відзначити, що:

1) приуроченість зсувів до розломних зон та до аномалій, які відображають зони тріщинуватості гірських порід, свідчить про доцільність застосування гравімагнітних методів для картування послаблених зон гірських порід;

2) гравітаційні аномалії добре корелюють з геологічною будовою регіону: підвищені значення інтенсивності в районах гірських масивів зумовлені породами високої густини, такими як неогенові вулканічні породи та метаморфічні породи. Від'ємні аномалії відображають неогенові та четвертинні відклади, високі градієнтні зони контролюють тектонічні порушення;

3) осадові та метаморфічні породи мають невелику намагніченість, що відображається пониженими значеннями інтенсивності аномалій магнітного поля. Інтенсивні аномалії магнітного

поля Закарпатського внутрішнього прогину пояснюються впливом вулканічних порід високої намагніченості. Навпаки, осадові та метаморфічні породи картуються аномаліями різного знаку через невелику намагніченість та контрастність густини порід.

Треба вважати доведеною необхідність аналізу гравітаційних та магнітних полів при аналізі зсувної активності та її прогнозуванні.

Список літератури

- Анікеєв, С. Г., Максимчук, В. Ю., Пилип'як, М. М. Гравімагнітна модель Коломийської палеодоліни уздовж геотраверсу Надвірна-Отинія-Івано-Франківськ. *Геофизический журнал*. 2019. № 6, Т. 41. С. 73–92. DOI: <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v41i6.2019.190067>.
- Гошовський, С. В., Рудько, Г. І., Блінов, П. В. Інженерно-геологічний аналіз, моніторинг та захист території від зсувів. Львів: ЗУКЦ, 2004. 152 с.
- Демчишин, М. Г. Современная динамика склонов на территории Украины. Київ: Наукова думка, 1992. 251 с.
- Державна геологічна карта України масштабу 1:200000, аркуші М-34-XXIX (Сніна), М-34-XXXV(Ужгород), L-34-V (Сату-Маре). (2003). К.: Міністерство екології та природних ресурсів України, державне геологічне підприємство «Західукргеологія», 96 с.
- Емельянова, Е. П. Основные закономерности оползневых процессов. Москва: Недра, 1978. 308 с.
- Іванік, О. М. Просторовий аналіз та прогнозна оцінка формування водно-гравітаційних процесів на основі ГІС у карпатському регіоні *Геоінформатика*, Київ, 2008. № 4. С. 52–58.
- Кларк, С. Справочник физических констант горных пород. Москва: Мир, 1969. 543 с.
- Кузьменко, Е. Д., Безсмертний, А. Ф., Вдовина, О. П., Крив'юк, І. В., Чебан, В. Д., Штогрин, Л. В. *Дослідження зсувних процесів геофізичними методами*: моногр. Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2009. 294 с.
- Кюнтцель, В. В. *Закономерности оползневого процесса на европейской территории СССР и его региональный прогноз*. Москва: Недра, 1980. 213 с.
- Ломтадзе, В. Д. *Инженерная геология. Инженерная геодинамика*. Ленинград: Недра, 1977. 479 с.
- Маєвський, Б. Й., Анікеєв, С. Г., Мончак, Л. С. та ін. Новітні дослідження геологічної будови і перспектив нафтогазоносності глибоко-занурених горизонтів Українських Карпат Івано-Франківськ, 2012. 208 с.
- Максимчук, В. Ю., Пиріжок, Н. Б., Пронишин, Р. С., Тимошук, В. Р. Деякі особливості сейсмічності Закарпаття. *Геодинаміка*. 2014. № 2. С. 139–149.

Methodology. The development of landslides in each structural-tectonic zone is associated with its tectonic structure, and therefore these processes can have different intensity, dynamics, tendencies for further development and distribution area. Lithological-facies composition and bedding conditions of rocks form the physical and mechanical properties of rocks, determining the rate and mechanism of the development of landslides. The spatial confinedness of landslide processes in the fault zones is reflected in the gravitational and magnetic fields. **Results.** With the help of GIS MapInfo tools, a number of landslides in each tectonic zone, anomalies in the gravitational and magnetic fields, areas affected by landslides, the distance to the fault zones were calculated. The important result of the research is to prove a direct correlation between the spatial distribution of landslides and fault zones, tectonic structure, the lithological composition of rocks, which are reflected in gravimagnetic anomalies. **Scientific novelty.** The peculiarities of the reflection of the tectonic structure, zones of decompression, fragmentation of rocks and lithological composition in gravimagnetic fields on a regional scale are examined, and their association with landslide processes is evaluated for the first time. **Practical significance.** The theoretical substantiation of the peculiarities of the behavior of gravimagnetic fields in the zones of distribution of landslide processes makes it possible to assess the natural conditions for the formation and development of landslides in a given region. The connection between the impact of the fault zones on landslide processes by their reflection in gravimagnetic fields is established, which can be used in the future for spatial forecasting of the development of landslides in territories with related structural-tectonic conditions.

Key words: landslide, tectonic zone, faults, lithological-facies composition, local anomalies of gravitational and magnetic fields.

Надійшла 11.04.2021 р.