Хмельницький національний університет
Гуманітарно-педагогічний факультет
Кафедра екології та біологічної освіти

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
здобувача першого (бакалаврського) рівня вищої освіти

ОЦІНКА РИЗИКІВ ЕКЗОГЕННИХ ГЕОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ТА РОЗРОБКА РЕКОМЕНДАЦІЙ ЇХ МІНІМІЗАЦІЇ ДЛЯ ХМЕЛЬНИЦЬКОЇ ОБЛАСТІ

Галузь знань – 10 «Природничі науки»
Спеціальність – 101 «Екологія»

КРЕКОЛ. 021036.01.17.00

Виконав: здобувач 4 курсу групи ЕКОЛ -21-1 _____ Володимир ТКАЧУК

Керівник _____ Андрій ДЯЧУК

Нормоконтролер _____ Сергій ШЕВЧЕНКО

До захисту допускаю:
Зав. кафедри екології та біологічної освіти
_____ Ольга ЄФРЕМОВА
18 червня 2025 р.

Хмельницький 2025

Факультет – Гуманітарно-педагогічний
Кафедра – Екології та біологічної освіти
Освітній рівень – перший (бакалаврський)
Галузь знань – 10 «Природничі науки»
Спеціальність – 101 «Екологія»
Освітньо-професійна програма – «Екологія»

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри екології
та біологічної освіти
_____ Ольга ЄФРЕМОВА
14 квітня 2025 р.

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Ткачуку Володимиру Олександровичу

1. Тема роботи: «Оцінка ризиків екзогенних геологічних процесів та розробка рекомендацій їх мінімізації для Хмельницької області».
керівник роботи Дячук Андрій Олександрович, кандидат педагогічних наук, доцент.
Затверджено наказом ректора університету від 07.02.2025 р. № 23.
2. Строк подання здобувачем роботи на кафедру 12.06.2025 р.
3. Вихідні дані до роботи: відомості про Хмельницьку область, статистичні дані, звіти Департаменту природних ресурсів та екології Хмельницької обласної державної адміністрації, наукові статті.
4. Зміст кваліфікаційної роботи: 1. Поняття та класифікація екзогенних геологічних процесів. 2. Аналіз екзогенних геологічних процесів у Хмельницькій області. 3. Розробка рекомендацій щодо мінімізації ризиків екзогенних процесів на території Хмельницької області.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів (розділів) кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів	Примітка
1	Поняття та класифікація екзогенних геологічних процесів	12.05-17.05.2025	виконано
2	Аналіз екзогенних геологічних процесів у Хмельницькій області	18.05-26.05.2025	виконано
3	Розробка рекомендацій щодо мінімізації ризиків екзогенних процесів на території Хмельницької області	27.05-02.06.2025	виконано
4	Оформлення роботи	03.06-12.06.2025	виконано

Дата видачі завдання: 12.05.2025 р.

Здобувач _____ Володимир ТКАЧУК

Керівник _____ Андрій ДЯЧУК

АНОТАЦІЯ

Тема – «Оцінка ризиків екзогенних геологічних процесів та розробка рекомендацій їх мінімізації для Хмельницької області».

Автор – здобувач освіти групи ЕКОЛ-21-1 В. Ткачук.

Керівник – к.пед.н., доцент А.О. Дячук.

Кваліфікаційна робота викладена на 52 сторінках, містить 4 таблиці, 8 рисунків та перелік джерел посилань з 32 джерел.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ЕКЗОГЕННІ ПРОЦЕСИ, РИЗИК, ЗДОРОВ'Я НАСЕЛЕННЯ, АНТРОПОГЕННИЙ ВПЛИВ.

У кваліфікаційній роботі досліджено різні підходи до класифікації екзогенних геологічних процесів, проаналізовано поширення та розвиток даних процесів на території Хмельницької області. Досліджено вплив антропогенної діяльності на розвиток екзогенних геологічних процесів, визначено найбільш небезпечні території області. Розроблено рекомендації для зменшення мінімізації ризиків екзогенних процесів на території Хмельницької області.

11.06.2025 р. Володимир ТКАЧУК

ЗМІСТ

С.

Вступ…… 5

1 Поняття та класифікація екзогенних геологічних процесів ……. 8

2 Аналіз екзогенних геологічних процесів у Хмельницькій області……. 23

2.1 Геологічна та геоморфологічна характеристика Хмельницької області…….. 23

2.2 Формування ризиків екзогенних процесів та їх оцінка для населення та інфраструктури Хмельницької області……. 28

2.3 Вплив антропогенної діяльності на активізацію екзогенних процесів…… 34

3 Розробка рекомендацій щодо мінімізації ризиків екзогенних процесів на території Хмельницької області…… 37

3.1 Управління ризиками та заходи попередження екзогенних процесів…… 37

3.2 Рекомендації щодо впровадження заходів запобігання негативному впливу екзогенних геологічних процесів на довкілля території Хмельницької області……. 44

Висновки ……. 46

Перелік джерел посилання ……...…….. 49

ВСТУП

Сучасні екологічні виклики, пов’язані з трансформацією геологічного середовища, набувають дедалі більшого значення в умовах зростання інтенсивності природних і техногенних навантажень на території України. Серед найбільш загрозливих природних процесів, що мають безпосередній вплив на стан довкілля, безпеку населення та функціонування інфраструктури, вагоме місце займають екзогенні геологічні процеси. Їх активізація зумовлена як природними чинниками − геоморфологічною будовою, кліматичними особливостями, гідрологічним режимом, − так і антропогенними втручаннями в геосистеми, що призводить до дестабілізації природного середовища.

Хмельницька область, розташована у межах західної частини Правобережної України, є територією з відносно складними геологічними та геоморфологічними умовами, що сприяють розвитку широкого спектра екзогенних небезпечних процесів − зсувів, ерозій, підтоплення, суфозії та карсту. Незважаючи на порівняно невисокий рівень урбанізації регіону, саме в останні десятиліття спостерігається зростання частоти та інтенсивності таких процесів, особливо в зонах активного господарського освоєння. Проблематика вивчення екзогенних явищ на рівні області, а також розроблення практичних механізмів їх попередження, є нагальною з огляду на потреби сталого розвитку регіонів та запобігання надзвичайним ситуаціям природного характеру.

Актуальність дослідження зумовлена потребою у системному аналізі просторових особливостей поширення екзогенних небезпечних геологічних процесів на території Хмельниччини, їх впливу на природно-техногенне середовище та пошуку ефективних управлінських рішень щодо їхньої мінімізації. Оскільки екзогенні процеси часто мають кумулятивний ефект, а їх наслідки − тривалу дію, важливо не лише виявити осередки небезпеки, а й впровадити науково обґрунтовані заходи запобігання та адаптації.

Метою роботи є комплексне дослідження особливостей розвитку та поширення екзогенних небезпечних геологічних процесів на території

Хмельницької області з метою розробки практичних рекомендацій щодо їх попередження та мінімізації екологічних і соціально-економічних наслідків.

Для досягнення мети поставлено такі завдання:

− проаналізувати теоретичні засади та підходи до класифікації екзогенних геологічних процесів;

− охарактеризувати геологічні та геоморфологічні умови Хмельницької області як чинники розвитку екзогенних процесів;

− провести оцінку ризиків, які формуються під впливом екзогенних процесів, для населення та інфраструктурних об’єктів регіону;

− дослідити роль антропогенного чинника в активізації екзогенних процесів;

− сформулювати практичні рекомендації для системи управління ризиками та природоохоронної політики на регіональному рівні.

Об’єктом дослідження є екзогенні геологічні процеси як чинники деструкції природного та антропогенного середовища.

Предмет дослідження − інтенсивність прояву, чинники формування та заходи мінімізації впливу екзогенних геологічних процесів на території Хмельницької області.

Методологічну основу становлять загальнонаукові методи аналізу та синтезу, порівняльно-географічний, картографічний, статистичний методи, а також методи геоінформаційного моделювання. У дослідженні використано матеріали моніторингових спостережень, інженерно-геологічні карти, а також результати попередніх наукових праць.

Наукова новизна роботи полягає в комплексному аналізі локальних і регіональних чинників активізації екзогенних геологічних процесів у Хмельницькій області та у формулюванні практичних рекомендацій, адаптованих до природних умов регіону.

Практичне значення отриманих результатів полягає в можливості використання розроблених рекомендацій органами місцевого самоврядування, екологічними службами, установами державного моніторингу надзвичайних

ситуацій, а також в освітньому процесі для формування екологічної свідомості населення.

Апробація результатів дипломної роботи: окремі її частини дослідження та одержані узагальнення були висвітлені в матеріалах щорічної Студентської науково-практичної конференції за підсумками науково-дослідної роботи студентів кафедри екології та біологічної освіти (05 червня 2025 року, м. Хмельницький).

1 ПОНЯТТЯ ТА КЛАСИФІКАЦІЯ ЕКЗОГЕННИХ ГЕОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ

Природне середовище постійно виступає джерелом потенційних загроз, що проявляються у вигляді стихійних лих. Ці явища характеризуються фізичними, хімічними, фізико-хімічними та біологічними чинниками, які можуть спричинити не лише матеріальні збитки, але й викликати соціально-психологічні наслідки, зокрема паніку серед населення. Статистичні дані свідчать, що обізнаність населення щодо поведінки в екстремальних ситуаціях суттєво знижує кількість постраждалих.

Стихійні лиха, як правило, мають раптовий характер, хоча їх виникнення може бути передбачене за допомогою метеорологічних спостережень. Однак, інтенсивність та масштаб таких явищ залишаються поза контролем людини. Часто ці процеси виникають у комплексі, що значно посилює їх деструктивний вплив.

Небезпечні природні явища класифікуються за трьома основними групами процесів: ендогенними, екзогенними та гідрометеорологічними. Екзогенні геологічні процеси, зокрема, відбуваються на поверхні Землі та в її приповерхневих шарах під впливом зовнішніх факторів, таких як сонячна радіація, сила тяжіння та біологічна активність організмів [1].

Урахування цих процесів є важливим для розробки ефективних стратегій зменшення ризиків та підвищення стійкості суспільства до природних катастроф.

Екзогенні геологічні процеси − це сукупність природних явищ, що відбуваються на поверхні Землі та у верхніх шарах літосфери під впливом зовнішніх чинників, таких як сонячна радіація, гравітація та біологічна активність організмів. Ці процеси спричиняють трансформацію рельєфу та зміну геологічних структур через механізми вивітрювання, ерозії, абразії, денудації, а також діяльність льодовиків і підземних вод. Основними джерелами енергії для екзогенних процесів є сонячне тепло та сила тяжіння, які активізують фізичні,

хімічні та біологічні взаємодії в геологічному середовищі. Ці процеси відіграють ключову роль у формуванні сучасного рельєфу та впливають на геоморфологічні умови територій [1].

На рисунку 1.1 наведено поширення екзогенних геологічних процесів на території України.

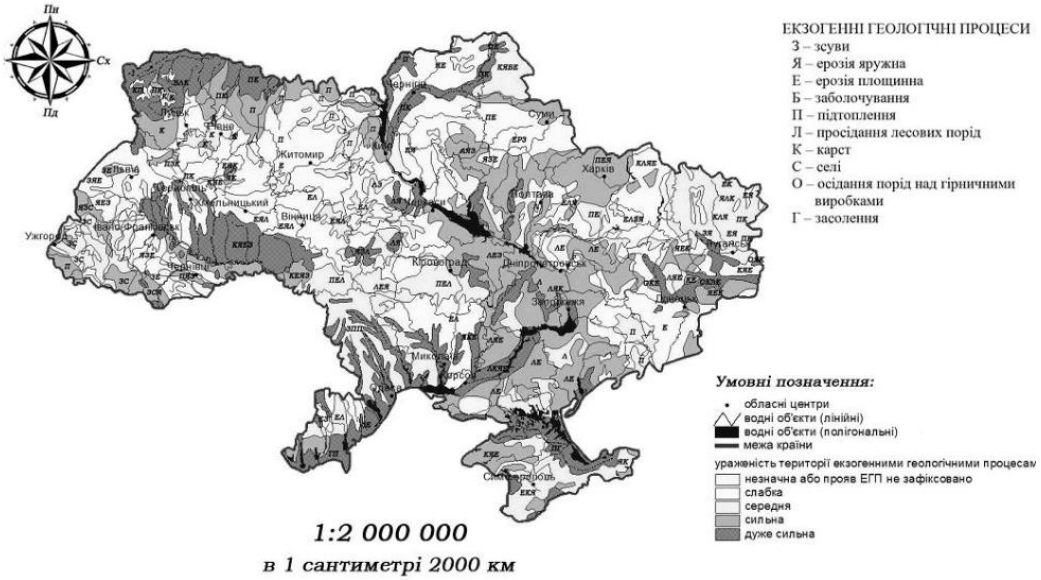

Рисунок 1.1 − Поширення екзогенних геологічних процесів на території України [2]

Екзогенні небезпечні явища характерні для України, за структурою можна поділити на:

− прості, що включають один елемент (сильний вітер, зсув або землетрус);

− складні, що складаються з декількох процесів однієї групи або кількох груп (негативні атмосферні та геодинамічні екзогенні процеси, ендогенні та екзогенні, гідрометеорологічні явища у поєднанні з техногенними) [3].

Найбільші збитки спричиняють повені – 40 %, на другому місці – циклони (20 %), на третьому – посухи та землетруси (15 %).

Значна частина надзвичайних природних явищ, таких як пожежі, обвали, зсуви, а в окремих випадках навіть землетруси, можуть бути спричинені безпосередньо діяльністю людини, тобто мати антропогенне походження. Проте, незалежно від джерела виникнення, наслідки цих подій є проявами дії природних

сил. Кожному типу стихійного лиха притаманні специфічні вражаючі фактори, що становлять серйозну загрозу життю та здоров'ю населення.

На території України спостерігаються різні небезпечні екзогенні геологічні процеси, що несуть загрозу для населення, об'єктів інфраструктури, сільського господарства та довкілля. Серед основних екзогенних небезпек виділяють: зсуви, обвали та осипи, карстові процеси, ерозійні процеси, селеві потоки, абразія берегів, підтоплення та просідання земної поверхні [1, 4, 5].

Одним з найнебезпечніших і дуже поширених природних явищ є зсуви.

Зсуви – це переміщення мас гірських порід або ґрунтів вниз по схилу під дією сили тяжіння, що відбувається по площинах або зонах ослаблення. Вони є одним із найбільш небезпечних екзогенних геологічних процесів, що характерні для території України, особливо для її гірських і передгірських регіонів [3, 6].

Зсуви характерні для західних областей України, а також узбережжям Чорного та Азовського морів (рисунок 1.2). Вони розвинуті па 50 % освоєних схилових площин з основними здеформованими горизонтами від глин карбону до плейстоценових суглинків.

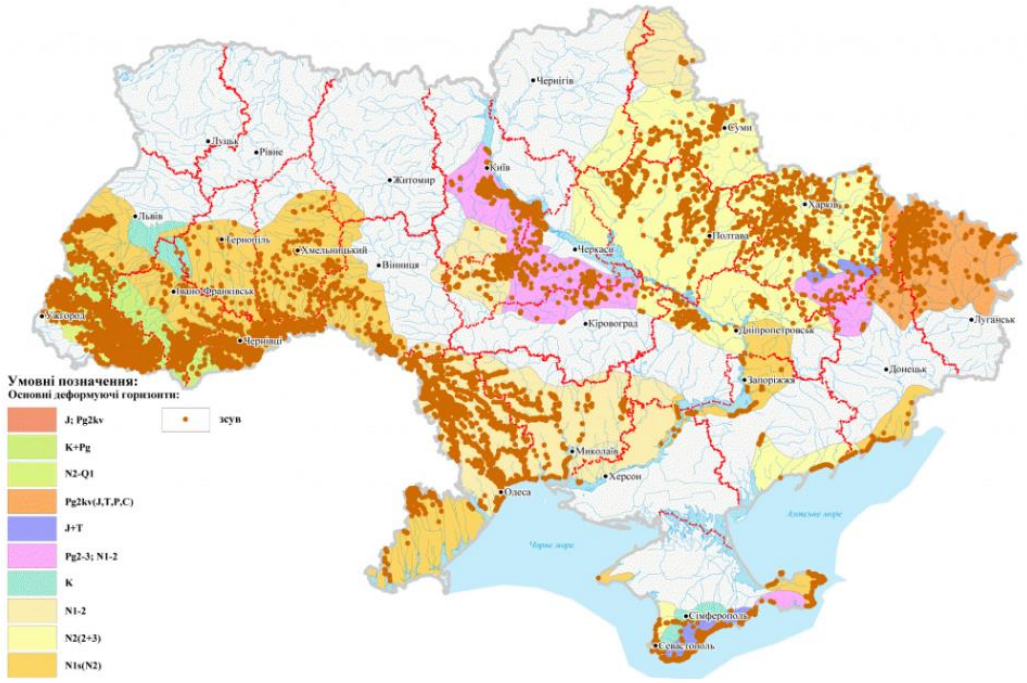

Рисунок 1.2 – Поширення зсувів на території України [2]

Вони характерні для зон тектонічних порушень, високих терас, схилів ерозійних систем, рік та водосховищ.

Зсуви можуть бути викликані як природними, так і штучними (антропогенними) причинами.

До природних відносяться: збільшення крутизни схилів, підмив їх основи морською чи річковою водою, сейсмічні поштовхи та інше [7].

Серед штучних причин виникнення зсувів виділяють: руйнування схилів дорожніми канавами, надмірним виносом ґрунту, вирубкою лісів; неправильним вибором агротехніки для сільськогосподарських угідь на схилах та інше. Згідно з міжнародною статистикою, до 80 % сучасних зсувів пов'язані з діяльністю людини (антропогенний фактор) [4, 5, 7].

Зсувні процеси зазвичай розвиваються на ділянках із поєднанням водотривких та водоносних геологічних порід, де за умов зволоження сила тяжіння накопичених на схилах продуктів вивітрювання перевищує внутрішнє зчеплення ґрунтів. Формування зсувів спостерігається на схилах із крутизною понад 10°, однак у випадку надмірного зволоження глинистих ґрунтів вони можуть виникати навіть на ухилах від 5° до 7°.

У літературних джерелах наводяться різні підходи класифікації зсувів, зокрема за глибиною залягання, літологічним складом, за обсягом мас гірських порід, які піддаються зсуву, тощо.

Залежно від глибини залягання, зсуви поділяють на:

– поверхневі (до 1 м);

– мілкі (до 5 м);

– глибокі (до 20 м);

– дуже глибокі (понад 20 м) [1, 3].

Класифікація за літологічним складом передбачає поділ на:

– кам'яні зсуви (що включають граніт, гнейс тощо);

– ґрунтові зсуви (утворені з пісків, глин, гравію тощо).

За обсягом мас гірських порід, залучених у зсувний процес, розрізняють:

– малі зсуви (до 10 тис. м³);

– великі (до 1 млн м³);

– дуже великі (понад 1 млн м³) [1].

Активність зсувних процесів обумовлена як властивостями порід, що формують схил, так і наявністю вологи. Залежно від цього вони можуть бути активними або неактивними. Швидкість переміщення зсувної маси варіюється у широкому діапазоні – від 0,06 м/рік до 3 м/с (таблиця 1.1) .

Таблиця 1.1 – Шкала швидкості руху зсуву

Гранична швидкість		Оцінка руху
3,0	м/с	Надзвичайно швидко
0,3	м/хв.	Дуже швидко
1,5	м/добу	Швидко
1,5	м/міс.	Помірно
1,5	м/рік	Дуже повільно
0,06	м/рік	Надзвичайно повільно

Оцінка зсувних явищ проводиться з урахуванням таких характеристик: типу гірських порід; ступеня їх зволоження; динаміки переміщення мас; об'єму зсувної маси; параметрів зміщення; довжини розповсюдження по схилу [4].

Основу зсувів можуть складати різні за текстурою й складом породи – від скельних до глинистих, які можуть бути сухими, злегка або сильно зволоженими, а також насиченими водою. Залежно від механізму переміщення мас, зсуви поділяються на:– класичні зсувні;– в’язко-пластичні;– гідродинамічного типу;– з раптовим розрідженням;– комбіновані.

За масштабами об’ємів порід у русі процеси поділяються на:

– малі (до 10 тис. м³);

– середні (від 11 тис. м³ до 100 тис. м³);

– великі (від 101 тис. м³ до 1 млн м³);

– надвеликі (понад 1 млн м³).

Селеві потоки (селі) − це надзвичайно небезпечні геологічні процеси екзогенного походження, що проявляються у вигляді раптового, стрімкого руху ущільненої суміші води, уламкового матеріалу (каміння, глини, піску, ґрунту) по гірських долинах та руслах малих річок. Ці явища поєднують у собі риси повені,

обвалу та лавини, що обумовлює їх надзвичайну руйнівну силу. Селеві потоки є типовими для гірських і передгірських регіонів, особливо в зонах з нестійкими геологічними та кліматичними умовами [3].

Ймовірність виникнення селевих явищ визначається низкою чинників, зокрема: літологічним складом гірських порід, їх здатністю до вивітрювання, рівнем техногенного навантаження на територію, ступенем порушення екологічного балансу. Під вивітрюванням розуміється сукупність фізико-механічних і хімічних змін, що відбуваються в породах під дією природних факторів (опади, вітрове навантаження, температурні коливання тощо).

В Україні селі найчастіше спостерігаються в межах Українських Карпат, особливо в Івано-Франківській, Закарпатській, Львівській і Чернівецькій областях (рисунок 1.3). Цей регіон характеризується складною геологічною будовою, розчленованим рельєфом, підвищеною кількістю опадів, наявністю пухких уламкових порід і схильністю до ерозії. Саме Карпати є типовим прикладом середньогірної території, де створено всі умови для інтенсивного розвитку селевих явищ [2, 4, 5].

Найбільшу селеактивність зафіксовано в Закарпатській області, зокрема в районах Рахова, Тячева, Міжгір’я та Хуста, де в умовах надмірного зволоження й ерозійних процесів часто формуються потужні грязьово-кам’яні потоки.

Селеві події в Карпатах, як правило, мають локальний характер, але можуть призводити до значних збитків: руйнування мостів, доріг, житлових будівель, підтоплення сільськогосподарських угідь, загибелі худоби і навіть людей.

Згідно з даними Українського гідрометеорологічного інституту, в Карпатах щорічно утворюється від 20 селевих потоків до 30 селевих потоків різної інтенсивності, при цьому у роки з екстремальними погодними умовами кількість селів може зростати в кілька разів.

У межах Кримських гір селеві процеси менш поширені, однак також мають місце, особливо у східній частині гір, де присутні глинисті та лесові ґрунти.

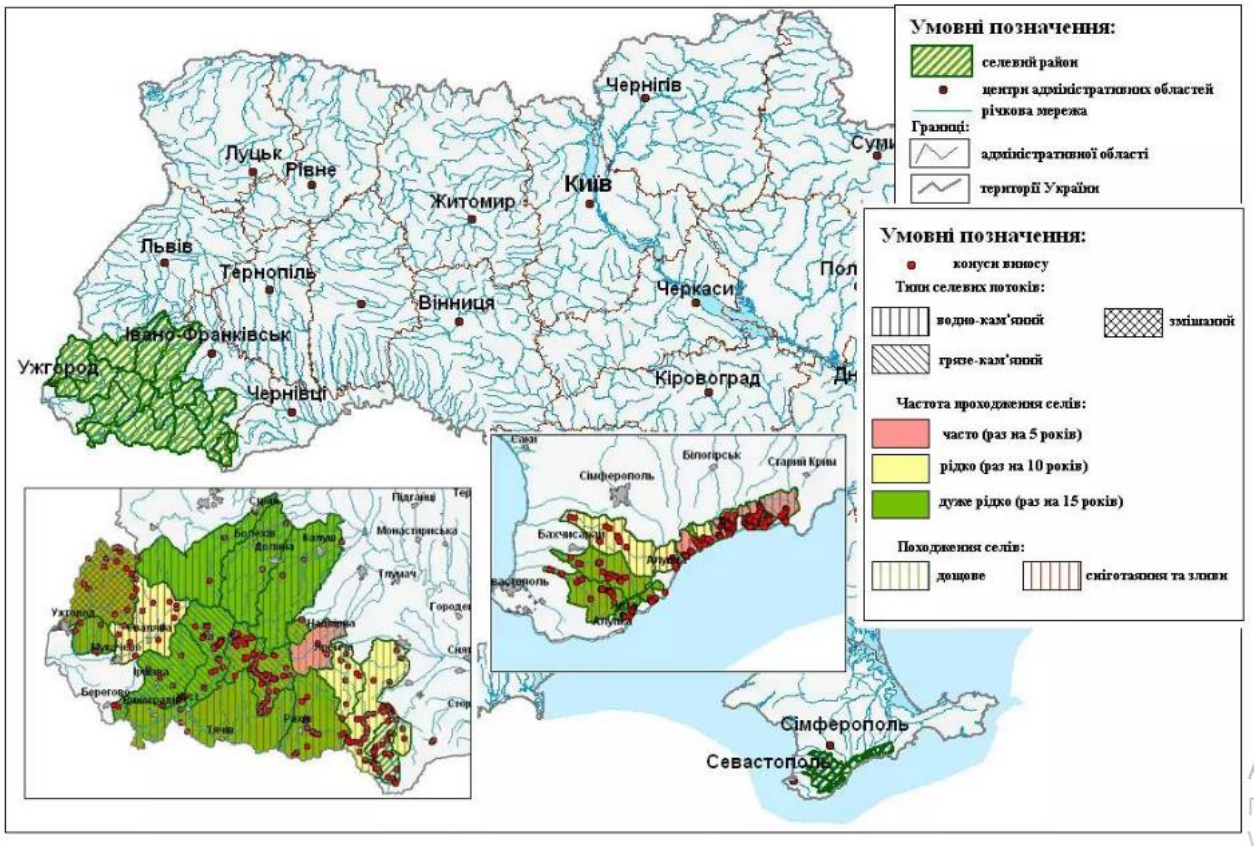

Рисунок 1.3 – Карта поширення селів на території України [2]

Основними тригерами їх утворення є зливові дощі значної інтенсивності, стрімке танення снігу або льодовиків, руйнування природних чи штучних гребель, а також сейсмічна активність і вулканічні виверження (таблиця 1.2).

Разом із тим, важливу роль у генерації селевих потоків відіграють і антропогенні чинники, зокрема:

− неконтрольована вирубка лісових масивів та деградація ґрунтового покриву на схилах;

− вибухові роботи в процесі будівництва гірських доріг;

− розробка корисних копалин у кар'єрах;

− нераціональна інженерна підготовка схилів;

− забруднення атмосфери, що призводить до змін у ґрунтово-рослинному покриві [7, 9].

Таблиця 1.2 – Основні чинники сельтворення

Гідрометеорологічні	− сума опадів за один дощ;

	− тривалість дощу та його інтенсивність; − сніжність зим, інтенсивність снігопадів, висота − снігу і його щільність; − температура повітря в період сніготанення.
Геологічні	− літологічний і мінералогічний склад відкладів; − тріщинуватість порід; − сейсмічність.
Геоморфологічні	− крутість і форма схилів; − ухил ерозійних форм; − густота і глибина розчленування земної поверхні.
Антропогенні	− рубка лісу; − випасання худоби та знищення лучного покриву; − порушення вимог агротехніки на орних землях; − неправильне складування відвалів породи тощо.

Селеві потоки вирізняються значною концентрацією твердих компонентів у водній масі та формуються переважно в гірських районах, де накопичено великі об'єми пухких уламкових відкладів. Їх виникнення зазвичай пов’язане з інтенсивними опадами, стрімким таненням снігового й льодовикового покриву, а також із проривом природних або штучних водоємних загат.

Згідно з аналітичними спостереженнями Українського науково-дослідного гідрометеорологічного інституту, останні роки характеризуються стабільною тенденцією до зростання середньорічної температури повітря на території України. Така зміна температурного режиму супроводжується трансформацією характеру атмосферних опадів, зокрема зростанням частоти та інтенсивності зливових дощів. У межах Карпатського регіону це явище істотно підвищує ризики виникнення селевих потоків. Одним із чинників, що посилює цю загрозу, є гірське положення регіону: атмосферні фронти, сформовані над Атлантичним

океаном, затримуються Карпатським хребтом, що спричиняє значні об’єми опадів за короткий часовий проміжок. Унаслідок цього формується надмірне поверхневе стікання, здатне ініціювати селеві процеси з високим ступенем небезпеки [7, 8, 9].

Основні механізми зародження селевих потоків представлені у таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 – Механізми зародження селів

Тип	Вихідні процеси	Етапи механізму зародження	Характер взаємодії з руслом
Ерозійний	Ерозія схилів і русла	Плоский змив і розмив схилів і русла, збільшення насиченості водного потоку уламками порід, селева хвиля	Рух потоку контролюється руслом
Проривний	Прорив водоймищ	Водяна хвиля, розмив і затягування до руху уламків мас порід, селева хвиля	Найбільше перероблення русла
Обвально-зсувний	Зрив масивів водонасичених гірських порід	Обводнення масиву і послаблення структурних зв'язків, зсув з руйнуванням структури і початок плину, селева хвиля	Переповнення русла і виникнення акумулятивних форм

Активізації селевих процесів сприяє низка антропогенних чинників, серед яких особливо вагомими є: масова вирубка лісів і деградація ґрунтів на гірських схилах, вибухові роботи під час будівництва транспортної інфраструктури, експлуатація кар’єрів, нераціональне здійснення обвальних заходів, а також підвищений рівень забруднення атмосфери, що негативно впливає на стан ґрунтово-рослинного покриву. Залежно від чинників формування селевих потоків, у науковій літературі подано відповідну класифікацію даних процесів, яка представлена у таблиці 1.4.

Таблиця 1.4 – Класифікація селів за факторами їх виникнення

Класи	Головні фактори формування	Основні особливості розповсюдження і режиму
Селі зонального проявлення	Кліматичний	Розповсюдження повсюдне і носить зональний характер. Схід селів систематичний; шляхи сходу постійні.
Селі регіонального проявлення	Геологічний	Розповсюдження обмежене. Схід селів епізодичний; шляхи сходу непостійні.
Селі антропогенні	Господарська діяльність	Розвивається в областях найбільшого господарського навантаження на гірський ландшафт. Характерне виникнення нових селевих басейнів з епізодичним, рідко з систематичним сходом селів.

Селевий басейн – це гірська ділянка рельєфу, яка включає витоки потоку, усю площу водозбору, руслову мережу та зони акумуляції селевих мас. Його морфологічні та геолого-геоморфологічні характеристики визначають імовірність утворення селів, їх інтенсивність і масштабність. До ключових параметрів селевого басейну належать: абсолютна висота витоків, тип породного складу, інтенсивність ерозійних і вивітрювальних процесів, гідрографічна будова [1, 7].

Класифікація селевих басейнів за висотою їх розміщення:

– високогірні – понад 2,5 км;

– середньогірні – від 1,0 км до 2,5 км;

– низькогірні – до 1,0 км [4].

Відповідно, зустрічається залежність, що чим вища висота витоку, тим більший об’єм селевого виносу з кожного квадратного кілометра басейну. За такої формули розвитку небезпеку становлять екзогенні явища, які утворюються на високогір’ї.

За рівнем селеактивності виділяють три категорії басейнів:

– сильноселеносні, що характеризуються значним накопиченням пухких уламкових порід та високим потенціалом утворення потоків – від 15 тис. м³ до 35 тис. м³ на 1 км² активної площі за одну подію;

– середньоселеносні – мають помірну селеутворюючу здатність (становить від 5 тис. м³ до 15 тис. м³), обумовлену активним вивітрюванням і ерозією;

– слабоселеносні, для яких характерні низька активність вивітрювання, обмежена гідрографічна мережа, деформації русел і схилів; обсяг селевого виносу становить до 5 тис. м³ [1, 2, 8].

Процес розвитку селю умовно поділяється на три фази:

– акумулятивна фаза – накопичення пухких уламкових матеріалів у руслах гірських потоків у результаті вивітрювання і ерозії;

– транспортна фаза – переміщення селевої маси з верхніх частин басейну в напрямку донизу по гірських водотоках;

– акумуляційна фаза – осідання та розосередження селевих потоків у долинних частинах гір.

Підтоплення – це один із небезпечних екзогенних гідрогеологічних процесів, що полягає у підвищенні рівня підземних або поверхневих вод до позначок, які призводять до зволоження, заболочування ґрунтів і затоплення територій. Такий процес зазвичай має тривалий характер і суттєво впливає на природне середовище, стан будівель, інфраструктуру та санітарно-гігієнічні умови проживання населення.

Процеси підтоплення виявляються як унаслідок природних чинників, так і під впливом техногенних навантажень. Динаміка змін підтоплених площ та інтенсивність розвитку цього явища мають нестабільний характер і суттєво залежать від змін у довкіллі та господарській діяльності. Особливо інтенсивне розширення зон підтоплення упродовж останніх років спостерігається в межах урбанізованих територій промислово-міських агломерацій, де суттєві втрати води з комунальних систем водопостачання та каналізації сприяють підвищенню рівня ґрунтових вод.

Залежно від домінуючого джерела живлення підтоплення та комплексу впливових чинників, виділяють три основні типи підтоплених територій:

– підтоплення природного походження спостерігається в умовах, коли джерелами зволоження є атмосферні опади (у тому числі дощові, талі та паводкові води), а гідрогеологічна рівновага залишається незміненою. Такий тип підтоплень характерний для північних регіонів України, зокрема Полісся (Волинська, Житомирська, Рівненська області, північ Київської області), а також північних частин Львівської та Тернопільської областей.

– підтоплення природно-техногенного генезису виникає в умовах частково порушеного балансу ґрунтових вод, зазвичай через зростання їхнього живлення при зниженні ефективності природного дренажу. Цей тип притаманний територіям центральної та південної України, зокрема Дніпропетровській, Запорізькій, Харківській, Луганській, Донецькій областям, а також північним районам Одеської, Миколаївської та Херсонської областей.

– підтоплення техногенного походження формується внаслідок істотного порушення природного водного балансу через інтенсивну господарську діяльність. Основними джерелами підтоплення в таких умовах виступають зрошувальні системи, штучні водні об’єкти (канали, водосховища, ставки), а також технічні комунікації у межах населених пунктів, зокрема мережі водопостачання та водовідведення. Локалізація ділянок техногенного підтоплення охоплює майже всю територію України, при цьому найбільш ураженими вважаються Херсонська, Одеська, Миколаївська, Дніпропетровська, Запорізька, Полтавська, Харківська та Донецька області [4, 7].

Систематичне розширення площ територій, охоплених підтопленням, зумовлюється переважно техногенними чинниками. Однією з актуальних еколого-геологічних проблем регіонального масштабу є активне впровадження так званих методів «мокрої» консервації нерентабельних або відпрацьованих шахт, що супроводжується затопленням гірничих виробок. Цей процес провокує інтенсивне підняття рівня підґрунтових вод, що спричиняє підтоплення житлової забудови, промислових об’єктів і розвиток заболочення на прилеглих до шахтних полів територіях. Подальша трансформація природного середовища у вказаних районах значною мірою залежатиме як від масштабів і технологічних особливостей гірничих робіт, так і від ефективності реалізації

природоохоронних заходів, спрямованих на зниження техногенного навантаження на довкілля.

Близько 74,2 % площі території України охоплені геологічними формаціями, що при сприятливих гідрогеологічних і техногенних умовах схильні до розвитку карстових процесів. Просторові особливості поширення карсту на території країни виявляють регіональну диференціацію, обумовлену неоднорідністю розподілу карстогенних порід, відмінностями у формах прояву (як підземного, так і поверхневого характеру), а також щільністю локалізації карстових утворень. Графічна інтерпретація площ розповсюдження карстовідповідних порід у межах адміністративно-територіальних одиниць представлена на рисунку 1.4.

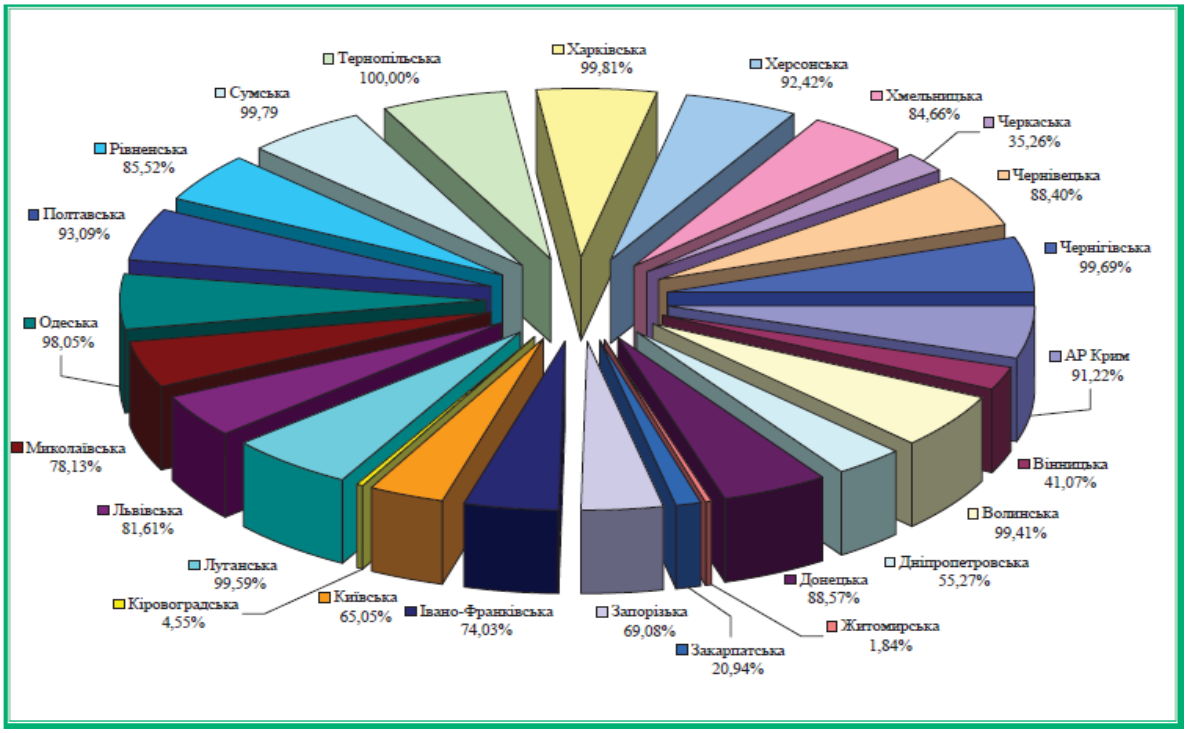

Рисунок 1.4 – Площі розповсюдження карстовідповідних порід за областями України

Упродовж останнього десятиліття провідну роль в інтенсифікації карстових процесів відіграє антропогенний вплив, зокрема господарська діяльність, яка здатна активізувати карстоутворення навіть у глибокозалягаючих породах (на глибинах від 100 м до 200 м, подекуди від 400 м до 800 м).

Особливої наукової уваги потребують зони сучасної активізації карсту, серед яких слід виокремити райони інтенсивних підземних гірничих розробок, територію поблизу Рівненської атомної електростанції, а також промислово-міські конгломерати Причорноморського регіону (зокрема міста Одеса).

Карта поширення карстових процесів представлена на рисунку 1.5 [2, 7].

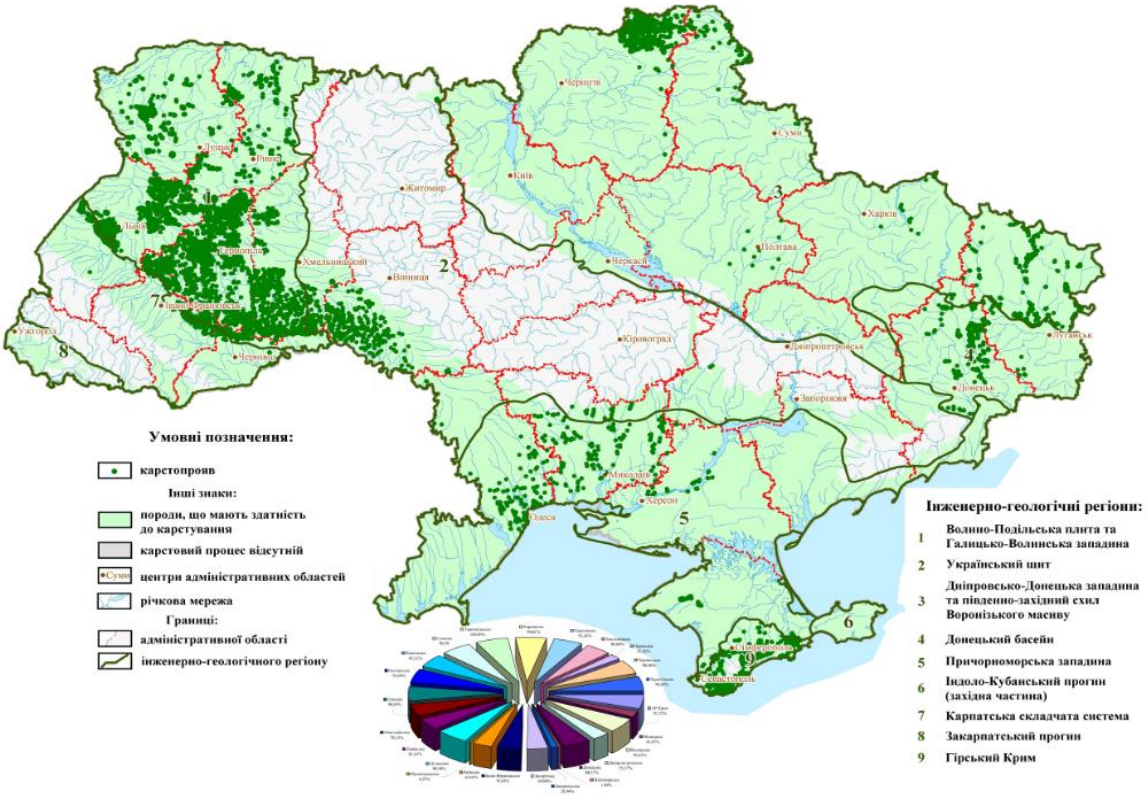

Рисунок 1.5 – Розвиток карстових процесів на території України [2]

Також до небезпечних екзогенних геологічних процесів належать обвали та осипи, що проявляються у вигляді раптового відокремлення та падіння значних об’ємів гірських порід зі стрімких схилів, урвищ або крутих берегів. У результаті цього виникає дроблення порід та їхнє скочування до підніжжя. Природні обвали найчастіше фіксуються в гірських регіонах, на морських узбережжях, а також на схилах річкових долин. Основними чинниками, що призводять до обвалів, є ослаблення структурної зв’язаності порід під впливом вивітрювання, підмивання, розчинення мінералів, а також сила тяжіння. Велику роль у розвитку обвальних процесів відіграє геологічна будова території, зокрема наявність тріщин і зон дроблення у товщі гірських порід.

Сучасна практика свідчить, що до 80 % обвалів мають антропогенне походження, тобто спричинені діяльністю людини, зокрема порушеннями при виконанні будівельних, гірничих і дорожніх робіт. Осипи формуються внаслідок накопичення уламкового матеріалу (щебеню, піску, ґрунту) біля підніжжя схилів у результаті гравітаційного переміщення.

Абразія – це геоморфологічний процес руйнування берегів морів, озер і водосховищ під впливом хвиль прибою. Найбільш інтенсивно цей процес проявляється вздовж узбережжя Азовського й Чорного морів. Зокрема, через абразійні процеси руйнуються піщано-галькові коси Азовського моря, що виконують функцію природного хвилелому, захищаючи материкове узбережжя від ерозії та затоплення. Щороку спостерігається втрата берегової зони: до 22 га на узбережжі Криму, близько 24 га в секторі між дельтою Дунаю та Кримом і до 19 га в північній частині Азовського моря. За оцінками, абразійним процесам піддається близько 60 % берегів Азовського моря та до 30 % узбережжя Чорного моря. Середня швидкість абразійного відступу становить від 1,3 метра до 4,2 метрів на рік [4, 8, 11].

Отож, екзогенні геологічні процеси є ключовим елементом природного середовища, які формуються внаслідок дії зовнішніх геодинамічних сил на земну поверхню та геологічне середовище. Їхній вплив зумовлює значну трансформацію рельєфу, зміну геоморфологічних і гідрогеологічних умов, а також створює потенційні загрози для техногенних об’єктів і населених пунктів.

У межах території України найбільш поширеними екзогенними процесами є зсуви, селі, обвали, підтоплення, карстоутворення, абразія та процеси заболочення. Їхня активізація тісно пов’язана з кліматичними змінами, геолого-структурними умовами та інтенсифікацією господарської діяльності.

2 АНАЛІЗ ЕКЗОГЕННИХ ГЕОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ У ХМЕЛЬНИЦЬКІЙ ОБЛАСТІ

2.1 Геологічна та геоморфологічна характеристика Хмельницької області

Хмельницька область розташована у західній частині України в межах Волинської та Подільської височин. Вона межує з Чернівецькою, Тернопільською, Рівненською, Житомирською та Вінницькою областями. Площа складає 20,6 км^2 або 3,4 % загальної площі України.

У геоструктурному плані Хмельниччина розташована на південному заході Східноєвропейської (Руської) платформи, на стику двох її важливих тектонічних елементів – Українського щита та Волино-Подільської плити (рисунок 2.1). Український щит є однією з найстаріших ділянок континентальної земної кори в межах України і репрезентує найбільш підняту частину кристалічного фундаменту платформи. Його складено переважно метаморфічними та магматичними кристалічними породами, які за віком належать до архею та протерозою – еонів, що охоплюють період від приблизно 3,5 млрд. років до 0,57 млрд. років. Ці породи зазнали значного тектонічного перетворення, зім’яті у складчасті структури й розчленовані густою мережею розломів, що поділили щит на численні тектонічні блоки різного масштабу [18, 19].

До найдавніших структурних елементів належать протерозойські розломи, які спричинили поділ Українського щита на п’ять великих блоків. Один із них – Волино-Подільський блок – охоплює східну частину Хмельницької області. У подальшому цей блок був додатково розділений пізнішим розломом широтного простягання на два підблоки: Волинський (на північному заході) та Подільський (на південному сході), лінія розмежування яких проходить поблизу м. Шепетівка [16 – 19].

Південна частина території Хмельницької області охоплює Подільський тектонічний блок, який характеризується значною жорсткістю та інтенсивним тектонічним підняттям унаслідок давніх ендогенних процесів.

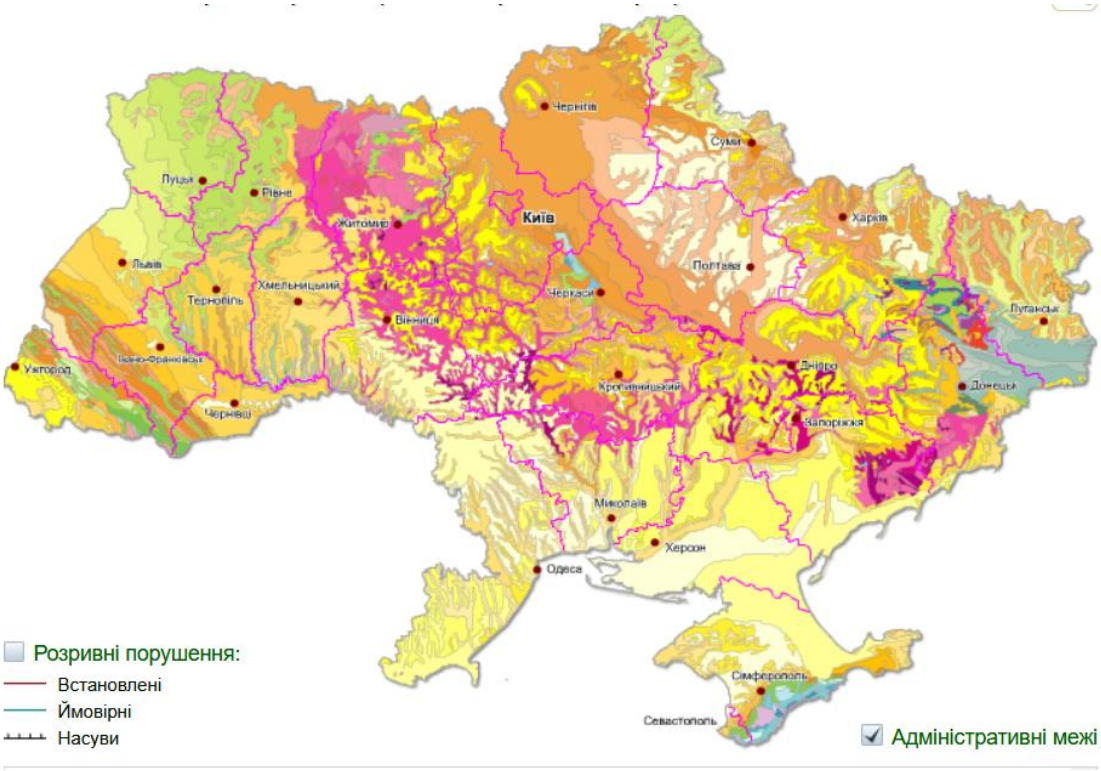

Рисунок 2.1 − Геологічна карта України (дочетвертинний зріз) з представленими адміністративними межами [20]

У геологічному розрізі Подільський блок представлений переважно метаморфізованими та магматичними утвореннями архейського віку − зокрема гнейсами, кварцитами, гранітами, діоритами й гранодіоритами. На східних теренах області ці породи залягають неглибоко під покривом відносно молодих осадових відкладів, а в межах річкових долин Південного Бугу, Случа та їх приток (зокрема Вовка, Бужка, Ікви, Ікопоті, Деревички, Хомори) виходять на денну поверхню [18, 20, 22].

Аналіз морфоструктурної будови Подільського плато свідчить про те, що геоморфологічне районування території Хмельницької області ґрунтується на виокремленні морфоструктур, кожна з яких має характерну морфоскульптурну специфіку. Просторово-структурний поділ регіону здійснюється з урахуванням морфогенетичних особливостей, починаючи з північних меж області.

У межах області виокремлюється кілька геоморфологічних округів та відповідних районів, серед яких одним із провідних у північній частині є Шепетівське Полісся. Геоструктурною основою даного округу виступає Шепетівський тектонічний блок, який займає крайній північний сектор області й

вирізняється мінімальними абсолютними висотами на всій території (окрім долини річки Дністер). Абсолютні відмітки поверхні тут варіюються в межах 240 м над рівнем моря [17, 19].

З огляду на морфогенетичні та літологічні особливості, в межах Шепетівського Полісся виокремлюються два геоморфологічні райони, один із яких − Славутський піщаний район − характеризується поширенням еолових форм рельєфу. Південна межа цього району проходить по невиразному в орографічному плані уступу, який, втім, чітко маркований зміною літологічного складу − від лесоподібних суглинків до піщано-супіщаних утворень.

Північна межа району більш виразна й фіксується за лінією поширення соснових борів на піщаних ґрунтах, що тягнеться орієнтовно через населені пункти: м. Острог − с. Нетечинці − Миньківці − Корчик − Гута − Яблунівка. За цією умовною межею розташовується інший геоморфологічний район, що належить до північної частини області.

На південь від Шепетівської рівнини розташовується Горинь-Случька або Північноподільська лесова хвиляста височина, яка характеризується середніми абсолютними висотами на рівні близько 300 м над рівнем моря. Височина чітко відмежовується від сусідньої рівнини 30-метровим уступом, що простягається вздовж лінії населених пунктів Кунів – Плужне та міст Шепетівка – Полонне, а далі тягнеться в межі Житомирської області до районів міст Чуднів і Бердичів [19, 20].

На відміну від Подільського, Волинський блок упродовж усього протерозойського еону демонстрував підвищену тектонічну рухливість, що зумовило його роздрібнення на низку дрібніших структурних елементів. Значна частина цих субблоків зазнала опускання, внаслідок чого утворилися депресійні геоструктури. Одним із таких елементів є Шепетівський блок, який охоплює північно-східну частину Хмельниччини. Його геологічну будову становлять архейські й протерозойські кристалічні породи − зокрема гнейси, мігматити та граніти. У межах водозборів річок Корчик і Случ ці породи формують виходи на земну поверхню, створюючи характерні денудаційні форми рельєфу.

Верхньобузька височина є третім геоморфологічним округом. Він характеризується, з одного боку, найбільшими на території Хмельницької області абсолютними висотами поверхні, які перевищують 350 м. а з другого – неглибоким розчленуванням, відсутністю глибоких каньйоноподібних долин і наявністю широких заболочених заплав у долинах. Долини часто не прорізують лесового покриву, а там, де прорізують його, все ж рідко виходять за межі неогенових відкладів.

Загалом, територія Хмельницької області характеризується загалом рівнинним рельєфом із переважанням платоподібних форм, які відзначаються різноманітною орографічною структурою.

У межах області простежуються різноманітні форми рельєфу, серед яких переважають плоскі та хвилясті височини, широкі річкові долини, вузькі каньйоноподібні ущелини, схили різної крутизни – від пологих до крутих уступів, а також поодинокі пагорби і горбогірні утворення. Формування такої геоморфологічної мозаїки обумовлене специфікою тектонічної структури території, особливостями її геологічного розвитку та складом гірських порід, що поширені в регіоні [16, 19, 22].

Найвищу частину області становить центральна орографічна смуга, в межах якої зосереджені витоки річки Південний Буг та її основних приток (зокрема Бужка, Плоскої, Вовка, Ікви), а також верхів’я річки Случ. Абсолютні позначки висоти в цій зоні переважають 320 м, а на окремих ділянках сягнуть до 380 м. Річкові долини мають порівняно мілкий вріз, схили здебільшого пологі, а їх структура пов’язана з розгалуженою системою ярів і балок.

Західну частину цієї висотної смуги, яку у 1890 році А. Тілло охарактеризував як Авратинську височину, також іменують Верхньобузькою (від Волочиська до Летичева). На північ і південь від неї спостерігається поступове зниження абсолютних висот. Зокрема, на північ від Шепетівки, в межах басейну річки Корчик, відмітки поверхні знижуються до 220 м, формуючи рівнинну морфоструктуру, вкриту піщаними відкладами та лесоподібними супісками [19, 20, 22].

Південніше Верхньобузької височини орографічна структура знову змінюється – рельєф поступово знижується у напрямку до долини Дністра. Ця частина області відома під назвою Придністров'я, або Східне Поділля. Зниження абсолютних висот у межах цієї території має плавний характер: якщо у витоках приток Дністра (зокрема Смотрича, Ушиці тощо), розташованих поблизу Верхньобузької височини, позначки сягають від 350 м до 355 м, то вже на відстані близько 15 км від основного русла Дністра вододільні висоти знижуються до 300 м. Таким чином, на відстані 80 км поверхня Придністров'я знижується лише на 40 м.

Однією з характерних рис Придністров'я є глибоке врізання головної водної артерії регіону – річки Дністер – у прилеглу поверхню. У межах області абсолютна висота його русла змінюється від 116 м (поблизу гирла річки Збруч) до 78 м (в районі гирла річки Ушиця), що вказує на вріз у межах від 180 м до 200 м. Такий глибокий вріз основного русла зумовлює аналогічну морфологічну будову і приток, які формують вузькі, глибокі, часто каньйоноподібні долини, що мають значну мальовничість і подрібнюють поверхню Придністров'я на окремі пасма з меридіональним простяганням, аналогічним напрямкам течії річок регіону [19, 22].

Узагальнено, територія Хмельницької області характеризується складною геоморфологічною структурою, яка формувалася під впливом тривалих тектонічних і літогенних процесів. Геоструктурна диференціація, зумовлена особливостями будови Подільського та Волинського блоків, спричинила формування різноманітних морфоскульптурних форм – від хвилястих височин і денудаційних рівнин до глибоко врізаних річкових долин. Ці особливості обумовлюють як загальний орографічний профіль області, так і локальні контрасти рельєфу, які відіграють важливу роль у просторовому плануванні, використанні природних ресурсів та оцінці екзогенних процесів у межах регіону.

2.2 Формування ризиків екзогенних процесів та їх оцінка для населення та інфраструктури Хмельницької області

Екзогенні процеси, які активно трансформують поверхню Хмельницької області, становлять зростаючу загрозу для безпеки населення та цілісності інфраструктури. В умовах кліматичної нестабільності, посилення антропогенного навантаження та значного втручання у природне середовище, ризики, пов’язані з ерозійними, зсувними, карстовими й іншими геодинамічними явищами, дедалі більше впливають на соціально-економічну ситуацію регіону. Особливої актуальності ця проблема набула в контексті повномасштабної військової агресії, яка значно ускладнила екологічну ситуацію та підвищила чутливість природного середовища до деградаційних змін [22, 24, 25].

Найбільш поширеними у регіоні слід є наступні ерозійні процеси: зсуви, карстові утворення, підтоплення та обвали. Ці процеси мають потенційно небезпечний вплив на життєдіяльність населення, функціонування інфраструктури, а також загалом на соціально-економічну стабільність області.

Серед екзогенних геоморфологічних процесів, характерних для території Хмельницької області, домінуюче положення займають водоерозійні явища, що проявляються у вигляді лінійного та площинного розмиву гірських порід і ґрунтів поверхневими стічними водами. Внаслідок тривалого впливу ерозійних процесів формуються різноманітні морфологічні структури рельєфу, зокрема промоїни, яри, балки та річкові долини, які можуть мати різний морфогенетичний тип − з пологими або крутими схилами, скелястими урвищами, а також каньйоноподібними формами.

За сучасною оцінкою, на території Хмельницької області під дією водної ерозії зазнають розмиву понад 104,8 тис. га сільськогосподарських угідь, з яких водна ерозія охоплює 83,9 тис. га, вітрова − 20,9 тис. га, а 87,8 тис. га перебувають під подвійним впливом обох типів ерозії [20]. Інтенсивна ерозійна активність низької, але значущої потужності (від 10 м³ до 100 м³ матеріалу) призводить до значної деградації ґрунтів, зростання водного стоку та формування балково-яркових систем, безпосередньо впливаючи на стабільність комунікацій та утворення просадок у будинках [22, 24].

Оскільки ліси здебільшого вирубані, а на їх місці орні землі. То посилилася ерозія не лише ґрунту, а й материнських порід лесовидного характеру. Отже, з

точки зору сучасних поцесів Случ-Хоморський геоморфологічний район дуже небезпечний, а розробка заходів боротьби з ерозією є одним із невідкладних завдань раціонального використання природних ресурсів.

Площинний змив сприяє поступовому вирівнюванню схилів, вивільняючи та переміщуючи пухкий елювіальний матеріал до нижніх елементів рельєфу, здебільшого – до підніжжя схилів. Окрім ерозійної діяльності, на території області локально фіксуються прояви інших екзогенних процесів: еолових – пов'язаних із відкладенням та переміщенням матеріалу вітром, а також карстових − що формуються в результаті розчинення карбонатних і сульфатних порід, переважно вапняків і гіпсів.

У районах з високим рівнем вологості, особливо на схилах, де відбувається вихід ґрунтових вод на поверхню, можливе формування зсувних тіл, що свідчить про активізацію гравітаційних процесів у межах нестійких геологічних структур.

Щодо зсувів, у межах Волинсько-Подільської плити (включно з Хмельницькою областю) зареєстровано понад 640 зсувопідйомних зон, що охоплюють близько 908 км², або майже 10 % усієї території регіону. 80 % цієї території були підсилені економічною діяльністю — в основному через землекористування, вирубування лісів та порушення дренажу. Найбільш зсувонебезпечні ділянки перебувають у верхів'ях долин, де порідні пласти мають тріщиновий або глинистий склад, а ухили перевищують навіть 19 градусів, хоча зсуви можуть розпочинатися вже при ухилах у від 5 градусів до 7 градусів. Так на території області з 2021 року по 2022 рік зафіксовано 424 зсуви загальною площею 20,96 км^2 [24, 26, 27].

Найбільш інтенсивно сучасні ерозійні процеси проявляються в межах Придністровської частини області, що відзначається глибоко врізаними долинами водотоків та розвиненою яружно-балковою сіткою. У межах інших морфоструктурних одиниць області утворення ярів має локальний характер і зустрічається значно рідше.

Натомість більш поширеними є балочні форми — ерозійні структури, які пройшли послідовні стадії морфогенезу, починаючи з промоїн і ярів, та сформувалися ще впродовж ранніх фаз четвертинного періоду. Балки є

характерним елементом рельєфу для Ізяславської хвилястої височини, а також для Старокостянтинівської й Верхньобузької підвищених морфоструктур.

На цих територіях балкова мережа має високу щільність і охоплює як схили долин, так і вододільні ділянки. Подекуди глибина балочного розчленування досягає від 40 метрів до 50 метрів, що спостерігається, зокрема, в межиріччях Бужка та Случі, Бужка та Південного Бугу. У таких районах рельєф набуває рис, подібних до низькогірних ландшафтів, формуючи складну мозаїчну морфологічну структуру [26, 27].

Карстові форми рельєфу на території Хмельницької області (рисунок 2.2) мають обмежене поширення та, як правило, приурочені до окремих ділянок з відповідними геологічними умовами. Зокрема, у межах Кам’янець-Подільського району, в околицях села Завалля, де залягають гіпси тортонського ярусу, виявлено одну з найвідоміших печер регіону — печеру, відому під назвою «Атлантида». Протяжність досліджених ходів цієї спелеологічної структури становить близько 2800 метрів, що робить її важливим об’єктом як у геоморфологічному, так і в туристично-рекреаційному контексті.

Найбільш виразне зосередження карстових форм спостерігається в межах Товтрового кряжа − унікального геоморфологічного утворення, яке характеризується значним розвитком як поверхневого, так і підземного карсту. Хоча великі печерні системи тут зустрічаються рідко (наприклад, Кармалюкова печера поблизу села Привороття), однак для цієї території типовими є малі форми карстового походження: тріщинуваті структури, борозни, заглиблення, коміркоподібні ніші тощо.

Рисунок 2.2 – Карта карстопроявів на території України [20]

Скупчення таких дрібних карстових морфологій на окремих ділянках головного пасма Товтрового масиву іноді формують цілісні карстові поля – поверхні з виразною мікрорельєфною диференціацією, що суттєво впливають на природні дренажні системи, мікроклімат та ґрунтові умови регіону.

Щодо карстоутворення, на Поділлі, включно з Хмельниччиною, фіксується активно-розвинений карст на площі близько 4 235 км² – це становить одну з найвищих щільностей в країні. Частка відкритого карсту сягає 7 %, а щільність дрібних провалів та тріщин перевищує 1800 одиниць на км² в тортонських формаціях гіпсів, що спостерігалось, зокрема, у печерах типу «Атлантиди» . Це створює важливий геотехнічний ризик – провали або обвали, особливо небезпечні для будівництва підземної інфраструктури й житлових комплексів.

Згідно з оцінками, рівень ризику повеней в Хмельницькій області вважається досить високим – 7 балів із 10 балів [20, 24]. Це означає, що територія регіону є значно вразливою до підтоплень під час сезону весняних паводків або після інтенсивних опадів (рисунок 2.3).

Рисунок 2.3 – Наслідки підтоплення на території Хмельницької області (с. Поляни, 2020 р.)

Регіональна гідрометеосистема регулярно фіксує сезоні весняні підйоми рівня ґрунтових та поверхневих вод. Зокрема, у центральній та північній частинах країни під час повеней 2023 року було зафіксовано негайне підтоплення понад до 950 житлових одиниць у різних областях . Хоча точні площі під підтопленням для Хмельницької області рідко публікуються окремо, та загальні тенденції вказують, що загальнодержавні масштаби − понад 10 000 га сільгоспугідь − системно відчуваються й у межах Хмельниччини [27, 28].

Більшість гідротехнічних споруд створені впродовж другої половини XX століття з метою регулювання водного режиму, підтримання стабільного водопостачання для потреб сільського господарства, промисловості та населення. Проте значна частина з них на сьогодні перебуває у незадовільному технічному стані, що зумовлює високі ризики надзвичайних ситуацій, пов’язаних з проривами дамб, ерозією берегів і аварійним скиданням води.

Проблема підтоплення на території Хмельницької області має як природно-кліматичні, так і техногенні чинники. Основними природними передумовами є висока зволоженість території, особливо в північній частині області (Шепетівська ОТГ та Полонська ОТГ), де поширені болотисті ґрунти й неглибоке залягання ґрунтових вод. Інтенсивні атмосферні опади, особливо

навесні, сприяють підвищенню рівня води в річках і водоймах, що викликає сезонні розливи.

Техногенні чинники включають неефективне функціонування дренажних систем, засмічення водовідвідних каналів, втрату водопропускної спроможності малих річок через заростання та відсутність системного технічного обслуговування. Додаткову загрозу становить надмірна урбанізація окремих ділянок (наприклад, у м. Хмельницький), що призводить до зменшення площі природного водопоглинання та активізації локальних підтоплень після злив.

Згідно зі статистикою ДСНС України, у 2022–2024 роках на території області було зафіксовано понад **60 випадків підтоплення житлових будинків та господарських споруд,** здебільшого у водозбірних зонах Південного Бугу та Случа. Особливо уразливими залишаються населені пункти, розташовані у заплавах малих річок, а також низинні частини міст, де система лівневого водовідведення є застарілою або фрагментарною [25, 28].

Важливим є також врахування впливу воєнних дій, зокрема ракетних ударів по об’єктах критичної інфраструктури. Наприклад, у 2023 році внаслідок ураження енергетичних об’єктів у Хмельницькому регіоні спостерігалися перебої в роботі насосних станцій, що забезпечують дренаж підтоплюваних територій, зокрема в заплавах Вовка та Ікви. Це призвело до тимчасового затоплення сільськогосподарських угідь і частини приватного сектору.

У сезон пікового паводку зазвичай затоплюються: прибережні площі річок (Дністр, Південний Буг, Случ і їхні притоки), низинні ділянки біля населених пунктів, підвищені ділянки через застóй ґрунтових вод.

Отже, оцінка ризиків для населення та інфраструктури Хмельницької області потребує не лише врахування природних геоморфологічних чинників, а й розуміння новітніх загроз, зумовлених військовими діями. Комплексне поєднання геоекологічного аналізу, сучасних методів просторового моделювання та системного моніторингу дозволить сформувати інтегровану модель реагування на потенційні ризики, що забезпечить як збереження критичної інфраструктури, так і безпеку життя населення у надзвичайних умовах.

2.3 Вплив антропогенної діяльності на активізацію екзогенних процесів

Антропогенний вплив виступає ключовим фактором посиленої активності екзогенних процесів у регіоні. У Хмельницькій області, як і в багатьох інших частинах України, зростання господарського навантаження − аграрного, комунального, промислового−обумовлює загострення таких процесів, як ерозія, зсуви, суфозійні прояви й підтоплення

Військові дії, навіть якщо вони не мають безпосереднього фронтового характеру для Хмельницької області, чинять значний опосередкований вплив на територіальну стабільність. Часті вибухи, зокрема внаслідок ракетних ударів чи діяльності систем ППО, викликають мікросейсмічні коливання, які можуть активізувати зсуви на нестабільних схилах, особливо в районах із наявною геологічною тріщинуватістю або давніми ерозійними формами. У випадках порушення природного дренажу чи руйнування гідротехнічних споруд виникає ризик локальних підтоплень, що своєю чергою сприяє посиленню гравітаційних процесів.

Крім того, додатковим чинником ризику є техногенне забруднення, пов’язане з руйнуванням об’єктів критичної інфраструктури, таких як склади паливо-мастильних матеріалів, трансформаторні підстанції чи промислові об’єкти. Потрапляння токсичних речовин у ґрунт і водоносні горизонти не лише змінює гідрогеологічну ситуацію, але й здатне провокувати хімічно обумовлені форми екзогенних процесів, у тому числі прискорене розчинення карбонатних порід − фактор, що прямо пов’язаний з інтенсифікацією карстових явищ.

Уразливість населення в таких умовах зростає, оскільки на тлі загального погіршення доступу до ресурсів і сервісів цивільного захисту посилюється залежність від місцевих природних умов. Особливо небезпечними є ситуації, коли ураження об'єктів інфраструктури співпадає з високою природною небезпекою місцевості. Наприклад, руйнування мостів або доріг у районах з густою яружно-балковою мережею може спричинити повну ізоляцію населених

пунктів, що унеможливлює проведення евакуації або постачання гуманітарної допомоги.

Серед найбільш поширених антропогенних каталізаторів розвитку екзогенних небезпечних процесів є аграрна діяльність, що призводить до розвитку ерозійних процесів та деградації ґрунтів.

Основним індуктором загострення водної та вітрової ерозії є інтенсивне використання земель: оранка на схилах, низька частка заліснення, відсутність протиерозійних смуг. На Полтавщині, де понад 66 % території розорано на схилах, спостерігалось зниження вмісту гумусу до критичних рівнів − явище, яке характерне і для прилеглих регіонів, включаючи Хмельницьку область [23, 27, 28]. Масштаб господарської діяльності без агротехнічної адаптації призводить до вимивання родючого шару, руйнування структури ґрунтів та зміни гідрофізичних властивостей.

Значного впливу на розвиток екзогенних процесів завдає будівництво ставків, меліоративних систем і недосконала водовідведення посилюють загрозу гідрогеологічних небезпек. Приклад долини Горині демонструє, як нерегульовані зміни русел водних артерій та водозабірні системи (наприклад, для АЕС) сприяють ерозії берегів і зростанню рівнів ґрунтових вод . Техногенний вплив водної інфраструктури викликає деградацію русел, зміну природного режиму підземних вод і, як наслідок, підвищення рівня підтоплення.

Згідно з даними Державного агентства водних ресурсів України, на території області функціонує понад **3600 ставків, 33 водосховища,** а також **більше 40 км захисних дамб,** розміщених переважно у басейнах річок Південний Буг, Случ та Дністер [23, 27, 29].

Зниження лісистості через вирубку лісів як джерела деревини, так і в лісопосадках, зменшує захисні властивості територій. Українські дослідження показують, що вирубка й деградація рослинного покриву сприяють активізації ерозій та зсувів, особливо в умовах щойно переломлених екосистем.

Видобувні дії та комунальна діяльність, а саме розробка кар’єрів і технічні втручання в геологічні ґрунти нерідко призводять до порушень стабільності масивів ґрунтів. Вплив сейсмічних навантажень, усунення підпірних мас у

схилах та зрошення ґрунтових вод кар’єрами викликають осідання грунтів і формування зон деградації. Китайський досвід застосування локальних ГІС-моніторингів у прикордонних районах Закарпаття доводить ефективність таких заходів і в межах Хмельниччини .

Хімічне забруднення ґрунтів і стоків у поєднанні з агрохімікатами створює умови для порушення структури ґрунтів, зміни агрорежиму та втрат родючості. Початкові прояви засолення, ентропії ґрунтового покриву посилюють індивідуальні, але кумулятивні екзогенні процеси

Антропогенна трансформація природного середовища Хмельницької області виступає ключовим чинником активізації екзогенних геодинамічних процесів. Сукупна дія господарського навантаження, недосконалого управління водними ресурсами та інфраструктурними порушеннями, зумовленими військовими діями, сприяє загостренню ерозійних, зсувних, підтоплювальних і карстових явищ. Вразливість території зростає через зниження природної стійкості ландшафтів, деградацію ґрунтів, інтенсифікацію використання земель на схилах, а також через недотримання екологічно адаптованих підходів у землекористуванні. За сучасних умов, ефективне зниження ризиків вимагає системного моніторингу, інтеграції ландшафтно-екологічних принципів у планування просторового розвитку та відновлення природоохоронних функцій середовища.

3 РОЗРОБКА РЕКОМЕНДАЦІЙ ЩОДО МІНІМІЗАЦІЇ РИЗИКІВ ЕКЗОГЕННИХ ПРОЦЕСІВ НА ТЕРИТОРІЇ ХМЕЛЬНИЦЬКОЇ ОБЛАСТІ

3.1 Управління ризиками та заходи попередження екзогенних процесів

З урахуванням сучасних досліджень у галузі інженерної геології, геоекології та регіонального планування (зокрема, досліджень ДСНС України, Інституту геологічних наук НАН України, УкрГМІ та інших профільних установ), у роботі обґрунтовано пріоритетні напрямки управління ризиками, пов’язаними з проявами екзогенних небезпечних явищ. Розгляд таких підходів ґрунтується на сучасних принципах комплексного моніторингу геологічного середовища, впровадження інженерно-захисних заходів, екологічної стабілізації ландшафтів, а також адаптивного планування використання територій з урахуванням природної небезпеки [13, 14].

Окрему увагу приділено розробці комплексу практичних рекомендацій щодо підвищення рівня екологічної безпеки й територіальної стійкості до деструктивних природних впливів. Запропоновані для Хмельницької області заходи мають міждисциплінарний характер і охоплюють організаційно-правові, інженерно-технічні, агромеліоративні та природоохоронні рішення, що відповідають сучасним європейським підходам до зменшення ризиків, пов’язаних з екзогенними геологічними процесами.

На основі результатів моніторингових досліджень ДСНС України, Українського гідрометеорологічного інституту, Інституту геологічних наук НАН України, а також аналізу даних Національного атласу України, обґрунтовано основні типи небезпечних геологічних явищ, зокрема: зсуви, селеві потоки, ерозійні процеси, підтоплення, карстові деформації та абразію [14-16].

З метою зниження ризиків, пов’язаних із проявами вказаних екзогенних процесів, у роботі запропоновано систему практичних рекомендацій, які охоплюють чотири ключові напрямки:

− організаційно-правові заходи;

− інженерно-технічні заходи;

− агромеліоративні заходи;

− природоохоронні заходи [1, 4, 14].

На сучасному етапі розвитку суспільства важливим напрямом забезпечення екологічної безпеки та сталого розвитку Хмельницької області є формування та впровадження ефективних організаційно-правових механізмів попередження та мінімізації наслідків небезпечних екзогенних геологічних процесів. З огляду на геологічну будову, кліматичні особливості та зростаючий рівень антропогенного навантаження, на території області зростає актуальність проблеми підтоплень, зсувів, ерозії ґрунтів, карстових утворень та небезпечних геоморфологічних деформацій [15].

До пріоритетних організаційно-правових заходів, які повинні бути реалізовані в межах області, належать такі:

− актуалізація регіонального законодавства та інтеграція питань геоекологічної безпеки у стратегії розвитку області (рекомендується внести зміни до Регіональної стратегії розвитку Хмельницької області на 2025–2027 роки, доповнивши її положеннями щодо попередження геологічних небезпек, у т.ч. індикаторами ризику для забудови, сільськогосподарських та водогосподарських територій);

− розробка та затвердження обласної програми моніторингу небезпечних геологічних процесів (необхідно створити систему міжвідомчого спостереження, яка повинна забезпечувати виявлення осередків активізації зсувів, карсту та підтоплень);

− удосконалення містобудівної документації з урахуванням геологічної небезпеки (відповідно до Закону України «Про регулювання містобудівної діяльності» , рекомендується включати до генеральних планів населених пунктів області спеціальні картографічні матеріали з інженерно-геологічним зонуванням, що дозволить обґрунтувати обмеження на забудову у зонах потенційної небезпеки);

− забезпечення публічного доступу до інформації про геологічні ризики (на сайтах обласної військової адміністрації та територіальних громад доцільно

публікувати карти ризиків, результати спостережень, звіти щодо локалізації та динаміки небезпечних процесів);

− розширення повноважень органів місцевого самоврядування у сфері запобігання геологічним небезпекам (варто передбачити у місцевих бюджетах спеціальні фонди для реалізації природоохоронних та інженерно-укріплювальних заходів у зонах ризику, відповідно до положень Бюджетного кодексу України та Закону України «Про місцеве самоврядування»);

− проведення інформаційно-освітніх кампаній для населення щодо профілактики дій у разі активізації зсувів, селів, раптових підтоплень (особливої уваги потребують громади, розташовані в межах Придністров'я, долин Південного Бугу, Случі та Хомори);

− інтеграція регіону у всеукраїнську систему управління ризиками стихійних лих у межах Плану дій із впровадження Сендайської рамкової програми (затвердженою Кабінетом Міністрів України у 2018 р.).

На території Хмельницької області, яка характеризується поширенням зсувонебезпечних схилів, лесових просадкових ґрунтів, процесів підтоплення та карстоутворення, інженерний захист об'єктів набуває особливої важливості. З огляду на високу щільність забудови в містах Хмельницький, Славута, Кам'янець-Подільський, а також у зоні активного сільськогосподарського освоєння регіону, проєктування та реалізація заходів інженерного захисту повинні бути засновані на комплексному техніко-економічному обґрунтуванні, містобудівному аналізі, оцінці екологічних ризиків і ефективному використанні земельних ресурсів [14, 25, 28].

Інженерні рішення мають забезпечувати підвищення рівня стійкості геологічного середовища, надійне функціонування об'єктів інфраструктури протягом розрахункового терміну служби. Особливої актуальності це набуває у населених пунктах, де в межах житлової забудови вже зафіксовані активні прояви зсувних процесів, як-от у мікрорайоні Ружична в Хмельницькому, селах Цибулівка, Верхні Панівці та на ділянках із гідрогеологічними ускладненнями.

На основі аналізу літературних джерел, містобудівної документації, звітів державних органів управління екологічною безпекою, вважаємо, що до основних засобів інженерного захисту об’єктів у області доцільно відносити:

− підтримуючі та протизсувні споруди, які стабілізують нестійкі схили Подільського плато;

− фундаменти, розраховані з урахуванням можливого впливу зсувних мас;

− уловлюючі споруди та захисні галереї в місцях проявів карсту або ерозійного розчленування;

− берегозахисні споруди в районах прибережних територій річок Південний Буг, Горинь, Смотрич;

− дренажі глибокого залягання, які сприяють зниженню рівня ґрунтових вод на підтоплених ділянках;

− формування та коригування рельєфу шляхом планування схилів для зменшення крутизни [16, 26].

Окрім основних, значення мають і допоміжні заходи інженерного захисту, особливо в сільських районах та зоні інтенсивного землекористування. До них належать:

− протиобвальні та ерозійно-захисні дії, включаючи формування уступів, підпірних стінок тощо;

− локальні дренажні системи мілкого закладання, застійні дренажі та водозбірні каптажі, що ефективно працюють у підтоплених долинах;

− регулювання поверхневого стоку та організація водовідведення для запобігання інфільтрації зливових і талих вод у ґрунт, що особливо актуально для міських територій;

− агролісомеліорація на територіях, де спостерігається деградація схилів;

− хімічне закріплення ґрунтів у зонах зсувної небезпеки (зокрема в районах з наявністю лесових порід I типу за просадковістю) [14, 26, 28].

Оскільки території областей мають різну геологічну будову, величину техногенного та антропогенного навантаження, природно-кліматичні умови, тому заходи проєктування інженерного захисту в умовах Хмельницької області повинно виконуватись на основі:

− комплексних інженерно-геологічних, геофізичних і гідрогеологічних досліджень у районах прояву небезпечних процесів, таких як Шепетівський, Кам’янець-Подільський, Хмельницький райони;

− врахування специфіки існуючої та запланованої забудови, а також цільового призначення територій: заповідні зони (Подільські Товтри), сільськогосподарські угіддя, промислові зони;

− прогнозу змін у природному середовищі внаслідок кліматичних змін, урбанізації, гідротехнічного будівництва (наприклад, вплив каскаду водосховищ на Південному Бузі);

− аналізу аналогічних інженерних рішень, реалізованих у межах області чи Подільського регіону в цілому;

− архітектурно-планувальних рішень з урахуванням природно-техногенної ситуації;

− оцінки потенційного впливу зсувів, просідань чи підтоплення на житлові масиви, транспортну та інженерну інфраструктуру;

− техніко-економічного порівняння альтернативних рішень захисту з урахуванням вартості, термінів будівництва, ефективності та екологічної доцільності;

− врахування місцевих геологічних умов, кліматичних особливостей (періодичність зволоження, кількість опадів), забезпеченості відповідними будівельними матеріалами (зокрема вапняк, бут, глина, що поширені на території області) [17, 23, 27].

Ураховуючи геодинамічну складність території Хмельницької області, впровадження інженерного захисту має бути обов’язковим компонентом просторового планування та невід’ємною частиною заходів сталого розвитку регіону.

Реалізація інженерно-технічних та організаційно-технологічних заходів має здійснюватися у тісному взаємозв’язку з впровадженням комплексу супутніх агротехнічних, агролісомеліоративних і структурно-організаційних рішень, а також із активізацією науково-дослідної діяльності, що спрямована на

формування сталого землекористування та мінімізацію ризиків, пов’язаних із деградацією земельних ресурсів.

Зокрема, важливими напрямами є:

– удосконалення просторової організації землекористування з урахуванням природно-кліматичних, економічних та екологічних чинників;

– розробка та впровадження контурно-меліоративної моделі використання земель, у поєднанні з хімічною меліорацією ґрунтів задля підвищення їхньої родючості та стійкості до ерозійних процесів;

– відновлення природних функцій деградованих і вилучених із господарського обігу земель шляхом їх ренатуралізації, зокрема через створення захисних ландшафтів та природоохоронних територій;

– впровадження державних механізмів страхування населення та систем компенсації збитків, завданих негативними наслідками водних процесів, таких як підтоплення, зсуви, розмиви тощо;

– забезпечення наукового та науково-методичного супроводу впроваджуваних заходів, а також популяризація сучасних досягнень через фахову літературу, наукові публікації та інформаційні кампанії;

– посилення ролі екологічної освіти, формування екологічної культури та підвищення рівня екологічної свідомості населення з метою залучення широкої громадськості до вирішення проблем охорони довкілля.

Комплексна реалізація зазначених напрямів дозволяє не лише зміцнити екологічну безпеку територій, а й створити передумови для сталого розвитку, інтеграції природоохоронних принципів у практику управління земельними ресурсами та формування адаптивної стратегії територіального планування [20, 29].

У межах Хмельницької області, де переважає сільськогосподарське освоєння територій з різноманітним рельєфом, важливим напрямом екологічно виваженого природокористування є впровадження організаційно-господарських та агротехнічних заходів, спрямованих на збереження і відновлення родючості ґрунтів. Особливе значення має раціональне використання схилових земель, що

становлять підвищений ризик ерозійних процесів, особливо в умовах інтенсивного землеробства та кліматичних змін [24].

Організаційно-господарський підхід у таких умовах передбачає встановлення чітких обмежень на господарську діяльність у зонах підвищеної ерозійної небезпеки. Зокрема, застосування традиційних форм землекористування на крутих або малопотужних схилах має бути замінене на лісові та садові насадження захисного типу, що виконують як протиерозійну, так і водорегулюючу функцію. У межах прибережних територій водних об’єктів, включаючи річки Південний Буг, Ушицю, Смотрич, Жванчик та інші, доцільним є створення буферних зон із багаторічною рослинністю, яка сприяє зменшенню поверхневого стоку та фільтрації забруднень [18].

На орних землях, особливо тих, що схильні до водної ерозії, ефективним є впровадження контурного землеробства, тобто обробітку ґрунту поперек схилу. Така технологія суттєво знижує інтенсивність змиву ґрунтів під час зливових опадів. Окрім цього, в області необхідно розширити практику використання ґрунтозахисних сівозмін, що поєднують чергування культур із різною кореневою системою, залуження ділянок із високим рівнем деградації, а також тимчасове переведення еродованих площ у категорію природних кормових угідь [19, 23].

У районах із проявами вітрової ерозії, які періодично спостерігаються в південній частині області, ефективними виявляються заходи, що включають мінімальний обробіток ґрунту із залишенням рослинних решток на його поверхні, що дозволяє зберігати структуру та вологість. Також застосовується мульчування, як один із способів зниження випаровування і зміцнення верхнього шару ґрунту, з використанням доступних органічних матеріалів.

Наукове підґрунтя таких підходів підтверджується дослідженнями, що доводять необхідність переходу до адаптивного землеробства, з орієнтацією на природні умови регіону. Для Хмельницької області це особливо актуально у зв’язку з поширенням деградованих ґрунтів у зоні Подільського плато, де важливо не лише зберігати екологічну рівновагу, а й забезпечувати сталу агропродуктивність у довгостроковій перспективі [20, 27].

Таким чином, інтегроване впровадження ґрунтозахисних заходів у землеробську практику Хмельниччини є не лише екологічною вимогою, але й передумовою забезпечення продовольчої безпеки, збереження біорізноманіття та формування збалансованої стратегії регіонального розвитку.

3.2 Рекомендації щодо впровадження заходів запобігання негативному впливу екзогенних геологічних процесів на довкілля території Хмельницької області

Екологічна ситуація в Хмельницькій області потребує системного підходу до реалізації природоохоронних заходів, орієнтованих як на збереження природних ресурсів, так і на формування екологічної свідомості населення. Особливе значення в регіоні має поєднання технічних та організаційно-просвітницьких дій, що спрямовані на мінімізацію негативного антропогенного впливу на довкілля.

Рекомендуємо до пріоритетних природоохоронних заходів, які мають бути реалізовані в Хмельницькій області, впроваджувати наступні заходи:

– відновлення та збереження природних ландшафтів, зокрема у долинах річок Південний Буг, Смотрич і Ушиця;

– очищення та реабілітація малих річок і водосховищ;

– впровадження сучасних систем поводження з відходами (включаючи роздільний збір, сортування та переробку ТПВ) [24].

Окремої уваги заслуговують екологічні освітні заходи, які мають бути системно інтегровані в діяльність навчальних закладів, громадських організацій та органів місцевого самоврядування. Важливим завданням є формування у жителів області екологічної культури, що ґрунтується на знаннях про взаємозв’язок людини і природи, а також про вплив локальних дій на глобальні екологічні процеси.

В рамках освітньо-просвітницької роботи доцільно реалізовувати такі заходи:

– проведення еколого-просвітницьких акцій у школах та громадах (наприклад, «Чисте довкілля – спільна справа», «Посади дерево», «Збережи воду»);

– створення центрів екологічної освіти на базі закладів загальної середньої освіти, профтехосвіти та позашкільної освіти;

– інтеграція елементів екологічного виховання в освітні програми різного рівня (зокрема – через міжпредметні зв’язки з біологією, географією, технологіями);

– організація шкільних та студентських виставок, науково-практичних конференцій екологічного спрямування;

– активне залучення молоді до дослідницької роботи у сфері моніторингу стану довкілля, зокрема через співпрацю з екологічними організаціями та університетами [27].

У Хмельницькій області вже функціонують окремі ініціативи з екологічного виховання, зокрема проєкти, підтримані Департаментом природних ресурсів та екології Хмельницької ОДА. Проте існує потреба у створенні цілісної регіональної програми екологічної просвіти, яка враховувала б специфіку сільських та міських громад, проблеми забруднення води, повітря і ґрунтів, а також питання енергоефективності та зміни клімату [24, 30].

Таким чином, реалізація комплексної системи природоохоронних і освітніх заходів дозволить не лише покращити екологічний стан у Хмельницькій області, а й забезпечити сталий розвиток громади через формування екологічно свідомого та активного суспільства.

ВИСНОВКИ

Аналіз екзогенних геологічних процесів (ЕГП), здійснений у межах цієї магістерської роботи, дозволив встановити, що протягом останніх десятиліть спостерігається стійка тенденція до активізації небезпечних геодинамічних явищ на значній частині території України, зокрема й на території Хмельницької області. Встановлено, що поєднання природних чинників (геологічна будова, кліматичні умови, рельєф) із зростаючим техногенним навантаженням (будівництво, меліорація, експлуатація надр, урбанізація) сприяє значному підвищенню геоекологічної напруженості в регіонах.

Одним із головних висновків є те, що метеорологічні умови, хоча й мають істотний вплив на активізацію екзогенних процесів, не є єдиним або головним тригером. У роки зі зниженою водністю, як це зафіксовано у 2012 році, активність зсувів та інших геодинамічних явищ зберігається на високому рівні, що свідчить про важливість антропогенного чинника в цьому процесі. Значну роль відіграють урбанізовані території з порушеною природною дренажною мережею, втратами з водопровідних і каналізаційних мереж, а також поганим інженерним захистом.

Встановлено, що зсувні процеси залишаються найбільш поширеним видом ЕГП, як на національному рівні, так і в межах Хмельницької області. Так, на території України у 2012 році було зафіксовано понад 23 тисячі зсувів, з яких понад 2,5 тисячі — на забудованих територіях. У Хмельницькій області налічується 421 зсувна ділянка загальною площею понад 20 км², з них 38 розташовані в межах населених пунктів та становлять потенційну загрозу для 43 об’єктів інфраструктури. Встановлено також, що частина зсувів перебуває в активній або потенційно активній стадії, зокрема в м. Городок, смт Віньківці, селах Верхні Панівці, Цибулівка, Каскад. Такі дані свідчать про необхідність постійного моніторингу та впровадження заходів стабілізації схилів.

Одним із найрозповсюдженіших екзогенних процесів в Україні є підтоплення, площа якого наразі сягає майже 80 тис. км², що становить близько

13 % території держави. У Хмельницькій області підтопленням охоплено 170 населених пунктів, з найбільшими осередками у м. Славута, Старокостянтинів, Хмельницький, Шепетівка. Основними чинниками формування підтоплених територій є порушення режиму ґрунтових вод через недосконалу або застарілу комунальну інфраструктуру, щільну забудову, а також відсутність зливової каналізації. Разом з тим, спостерігається тенденція до незначного зниження рівнів ґрунтових вод, що в перспективі може сприяти зменшенню площ підтоплення.

Варто також зазначити, що територія Хмельницької області характеризується значним поширенням процесів карстоутворення, які охоплюють понад 84 % площі регіону. Суттєвою особливістю є переважання перекритого типу карсту, що значно ускладнює виявлення зон ризику без використання сучасних геофізичних методів. У межах області налічується щонайменше 769 одиниць поверхневих карстових проявів, що приурочені до ділянок тектонічних порушень і глибоких ерозійних врізів. Такі прояви потребують уважного картографування та створення кадастру небезпечних ділянок.

Особливе занепокоєння викликає також значне поширення лесових ґрунтів, які мають властивість до просідання. На території області ці ґрунти займають понад 70 % площі, що створює загрозу деформацій будівель та інженерних споруд за умови неякісного проєктування або недотримання будівельних норм. Значна частка таких ґрунтів відповідає I типу умов за просіданням, що є особливо небезпечним для забудови.

У роботі підкреслюється, що для ефективного управління ризиками, пов’язаними з екзогенними процесами, необхідним є системний підхід, що поєднує:

Організаційно-правові заходи, зокрема впровадження державних та регіональних програм з моніторингу небезпечних геологічних процесів, облік потенційно небезпечних ділянок у містобудівній документації, а також оновлення правової бази щодо забудови у зонах ризику.

Інженерно-технічні рішення, до яких належать будівництво протизсувних споруд, дренажних систем, укріплення схилів, геотехнічне моделювання стану ґрунтів перед початком будівництва та використання сучасних методів контролю за деформаціями (інклінометри, супутниковий моніторинг тощо).

Агромеліоративні заходи, як-от регуляція водного режиму сільськогосподарських угідь, недопущення перевипасу худоби на схилах, впровадження контурного землеробства, заліснення ерозійно небезпечних ділянок, консервація земель з нестабільним гідрологічним балансом.

Природоохоронні підходи, включаючи збереження природних дренажних систем, охорону водозбірних басейнів, екосистемне планування, зменшення техногенного навантаження на території з порушеним гідрогеологічним режимом.

Актуальність результатів дослідження підтверджується тим, що на території області вже є випадки розвитку небезпечних явищ, які загрожують життю людей та об’єктам критичної інфраструктури. Зокрема, описаний випадок активізації зсуву в мікрорайоні Ружична м. Хмельницький у 2012 році є показовим прикладом недостатньої інженерної підготовки територій під забудову.

Таким чином, систематизація та аналіз проявів ЕГП у Хмельницькій області засвідчують необхідність створення регіональної системи геоінформаційного моніторингу, яка б дозволила не лише фіксувати небезпечні прояви, а й прогнозувати їх розвиток. Такий підхід, у поєднанні з практичними рекомендаціями щодо запобігання та мінімізації наслідків, становить науково-практичну основу для ефективного управління геоекологічною безпекою територій.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1 Рудько Г.І. Геоекологічні ризики: класифікація, оцінка, прогнозування : монографія / Г.І. Рудько // Київ : Наукова думка. – 2013. – 468 с.

2 Електронний атлас України / Інститут географії НАНУ. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://wdc.org.ua/atlas/default.html (дата звернення: 04.05.2025).

3 Шнюков Е.Ф. Екологічна геологія України: довідник / Е.Ф. Шнюков, В. М. Шестопалов, Е.А. Яковлев // – Київ : Наукова думка – 1993. – 123 с.

4 Гошовський С.В. Екологічна безпека техноприродних систем у зв'язку з катастрофічним розвитком геологічних процесів / С.В. Гошовський, Г.І. Рудько, Л.І. Климчук //Львів-Київ : Генеза. – 2002. – 133 с.

5 Рудько Г.І. Наукові та методичні основи моніторингу геологічного середовища (інженерно-геодинамічні аспекти) / Г.І. Рудько // Вісник Львів. ун - ту. Сер. геогр. – 1995. – № 3. – С. 129–132.

6 Lei Q. Endo-exo framework for a unifying classification of episodic landslide movements / Q. Lei, D. Sornette // arXiv. – 2024. – March 7. – P. 1–18. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://doi:10.48550/arXiv.2403.04310. (дата звернення: 04.05.2025).

7 Климчук Л.І. Сучасні інженерно-геологічні умови України як складова безпеки життєдіяльності / Л.І. Климчук // Київ : Лібра – 2008. – 324 с.

8 Державна служба геології та надр України. Геоінформаційні системи моніторингу геологічного середовища [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.geo.gov.ua (дата звернення: 14.05.2025).

9 Selby M.J. Earth's Changing Surface: An Introduction to Geomorphology / M.J. Selby // Oxford University Press – 2019. – 400 p.

10 Goudie A. S. The Human Impact on the Natural Environment: Past, Present, and Future. – 8th ed. – Wiley-Blackwell / A. S. Goudie // – 2018. – 496 p.

11 Tang F. The Influence of Reservoirs on Landslide Erosion / F. Tang, S. Qi, S. Guo et al. // Remote Sensing. – 2025. – Vol. 17 – № 4 (569).

12 Державна служба геології та надр України. Геоінформаційні системи моніторингу геологічного середовища [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.geo.gov.ua (дата звернення: 14.05.2025).

13 Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України. Офіційний сайт [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://mepr.gov.ua (дата звернення: 14.05.2025).

14 Климчук Л.І. Узагальнення матеріалів інженерно-геологічного довивчення території України з метою підготовки геологічного забезпечення протизсувних заходів та УІАС НС на державному рівні / Л.І. Климчук та ін. // – Київ. – 2009. – 145 с.

15 Про охорону навколишнього природного середовища: Закон України від 25 червня 1991 р. №1264-XII. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1264-12#Text (дата звернення: 14.05.2025).

16 Бедрак Л. Інформаційний звіт «Моніторинг поширення та розвитку інженерно-геологічних процесів та явищ (ЕГП) в межах території Хмельницької і Вінницької областей з метою геологічного забезпечення УІАС НС та протизсувних заходів за 2012 рік» / Л. Бедрак // – Київ : Наукова думка. – 2012. – 168 с.

17 Колтун О. Рельєф міста Хмельницького / О. Колтун // Вісник Львівського університету. Серія географічна. – 2001. – № 28. – С. 115–120.

18 Колтун О. Сучасні екзогенні геоморфологічні процеси на території міста Хмельницького / О. Колтун // Наукові записки Тернопільського педагогічного університету. Серія географічна. – 2000. – № 2. – С. 13–17.

19 Геологія і геодезія Хмельницького та Хмельницької області / Геоплан [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https:// geoplan.com.ua (дата звернення: 20.05.2025).

20 Карти України. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://geomap.land.kiev.ua/geotech-3.html (дата звернення: 29.05.2025).

21 Hudak V. M. Geoinformation Modeling of Exogenous Geological Processes on the Territory of the Kyiv-Pechersk Lavra / V. M. Hudak, I. A. Cherevko,

V. I. Zatserkovny, O. Ye. Nikolaienko, N. Yu // Proceedings of Geoinformatic – 2021. – V. 2021. – p. 1–7. – DOI:10.3997/2214-4609.20215521048.

22 Коніков Є. Г. Небезпечні екзогенні геологічні процеси в Південно-західній Україні (методика вивчення, оцінки і прогнозування) / Є. Г. Коніков та ін. // Наукові редакції журнали ОНУ ім. І. І. Мечникова. – 2004. – С. 42–51.

23 Географія Хмельниччини [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://khmelnitskiy.wordpress.com/ (дата звернення: 20.05.2025).

24 Ничвид М.Р. Моніторинг сучасних екзогенних процесів / М. Ничвид, М. Голінка // Електронний репозитарій ДВНЗ «УжНУ». – 2017. – С. 1–25.

25 Олійник В. С. Шкідливі екзогенні процеси в лісах Українських Карпат / В. С. Олійник, М. М. Павук // Науковий вісник НЛТУ України. – 2024. – Т. 34, № 5. – С. 35–40.

26 Кузьменко Е.Д. «Закономірності розвитку поверхневих проявів карсту та селів» / Е.Д. Кузьменко та ін. // Національний технічний університет нафти і газу, Івано-Франківськ. – 2011. – С. 23 – 28.

27 Актуалізація Стратегії розвитку Хмельницької області на 2021-2027 роки. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.adm-km.gov.ua/?page_id=150081 (дата звернення: 21.05.2025).

28 ДБН В.1.1-46:2017 Інженерний захист територій, будівель і споруд від зсувів та обвалів. Основні положення. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=72096 (дата звернення: 14.05.2025).

29 Стратегічний план розвитку Хмельницької міської територіальної громади на 2021-2025 роки. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://surl.lu/mbdgoi (дата звернення: 28.05.2025).

30 Trofymchuk O. Mitigation of Landslide Hazards in Ukraine Under the Guidance of ICL: 2009–2016 / O. Trofymchuk, I. Kaliukh // in: Engineering Geology for Society and Territory. – 2016. – P. 379 – 386.

31 Веклич О.Ф. Удосконалення економічних інструментів екологічного управління в Україні / О.Ф. Веклич // Економіка України. – 2000. – № 9. – С. 65 – 74.

32 Иванюк О. М. Natural Hazards and Landslide Risk Management in Ukraine / О. М. Иванюк // Proceedings of 3rd EAGE Workshop on Assessment of Landslide Hazards and Impact on Communities. – 2021. – Vol. 2021. – P. 1–5.