

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Таврійський державний агротехнологічний університет
імені Дмитра Моторного
Навчально-науковий інститут загальноуніверситетської підготовки

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. каф. геоекології і землеустрою

доцент _____ Максим ГАНЧУК

“ 19 ” січня 2026 р.

Пояснювальна записка
до дипломної роботи здобувача СВО Магістр
(ступінь вищої освіти)

на тему: «Геоінформаційний аналіз і прогнозування селевої небезпеки»

26 ГЗ Д 002 000000 ПЗ

Виконав: здобувачка ВО 2 курсу, групи 21 МБГЗ 3
спеціальності 193 Геодезія та землеустрій
за ОПП Геодезія та землеустрій
(шифр і назва спеціальності та ОПП)

Здобувач вищої освіти _____ Катерина ЗАХАРОВА
(підпис) (П.І.П)

Керівник, доцент _____ Віра САЙ
(підпис) (П.І.П)

Консультант, доцент _____ Михайло ЗОРЯ
(підпис) (П.І.П.)

Нормоконтроль, доцент _____ Вікторія СКИБА
(підпис) (П.І.П)

Запоріжжя - 2026 рік

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ТАВРІЙСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ДМИТРА МОТОРНОГО

Інститут або факультет ННІЗУП
Кафедра геоекології і землеустрою

Ступінь вищої освіти Магістр
Галузь знань 19 «Архітектура та будівництво»

Спеціальність 193 «Геодезія та землеустрій»

Освітня програма «Геодезія та землеустрій»

ЗАТВЕРДЖУЮ
Зав. кафедри ГЕЗ
к.с.-г.н., доцент Максим ГАНЧУК
« 10 » січня 2026 р

ЗАВДАННЯ
ДО ВИКОНАННЯ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

студенту Захарова Катерина Миколаївна

1. Тема роботи **Геоінформаційний аналіз і прогнозування селевої небезпеки**

керівник роботи к.т.н., доцент Сай Віра Михайлівна

Затверджені наказом Ректора університету від «31» жовтня 2025 р. № 585/1-С

Строк подання студентом роботи «30» січня 2026 р.

Вихідні дані до роботи дані відділу статистики, держгеокадастру, данні ДЗЗ та ГІС.

Перелік питань, які потрібно розробити: можливості прогнозування виникнення селевих потоків; геоінформаційна технологія прогнозування селевих процесів; прогнозування негативних наслідків селевих потоків з використанням гіс технологій.

Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав (дата)	завдання прийняв
Розділ 4 Охорона праці в галузі	Михайло ЗОРЯ, к.т.н., доцент, завідувач кафедри цивільної безпеки	15.10.2025	15.10.2025

Дата видачі завдання

15.10.2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Назва етапів кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи (місяць)	Відмітка керівника про виконання (засвідчується підписом)
Розділ 1. Можливості прогнозування виникнення селевих потоків	вересень	Виконано
Розділ 2. Геоінформаційна технологія прогнозування селевих процесів	жовтень	Виконано
Розділ 3. Прогнозування негативних наслідків селевих потоків з використанням гіс технологій	листопад	Виконано
Розділ 4. Охорона праці і галузі	грудень	Виконано
Висновки	січень	Виконано

Студентка _____, К.М. Захарова
(підпис) (ініціали та прізвище)

Керівник роботи В.М. Сай
(підпис) (ініціали та прізвище)

АНОТАЦІЯ

Захарова К.М. Геоінформаційний аналіз і прогнозування селевої небезпеки. Магістерська робота. Кафедра геоекології і землеустрою. Запоріжжя, ТДАТУ ім. Д. Моторного, 2026. С.63

Текст викладений на 60 сторінках, містить 4 розділи, 5 таблиць, 32 рисунки, 3 формули, 24 літературних джерела.

Актуальність теми дослідження

Селеві потоки належать до найнебезпечніших геологічних процесів, що становлять значну загрозу для населення, інфраструктури та природного середовища. Застосування геоінформаційних систем (ГІС) у цьому контексті відкриває широкі можливості для підвищення точності прогнозування та зменшення негативних наслідків селевих явищ. Використання ГІС дає змогу знизити ризики для населення, оптимізувати використання ресурсів у процесах прогнозування, здійснювати моніторинг змін ландшафту, удосконалювати системи раннього попередження та налагоджувати ефективну взаємодію з громадськістю.

Основним завданням є прогнозування виникнення селевих потоків і оцінка їх можливих наслідків. Раніше прогнозування сходження селів здійснювалося переважно на основі метеорологічних та геолого-геоморфологічних досліджень. Поява геоінформаційних технологій, а також можливість використання відкритих джерел даних — цифрових моделей рельєфу, космічних знімків, інформації про інфраструктуру тощо — суттєво підвищила ефективність прогнозування негативних наслідків селевих потоків.

Метою роботи є підвищення ефективності прогнозування негативних наслідків сходження селевих потоків шляхом комплексного використання контактних і дистанційних даних.

Ключові слова: селі; супутникові знімки; ЦМР; ГІС; ДЗЗ.

ЗМІСТ

ВСТУП	3
РОЗДІЛ 1 МОЖЛИВОСТІ ПРОГНОЗУВАННЯ ВИНИКНЕННЯ СЕЛЕВИХ ПОТОКІВ	5
1.1 Поняття про селеві потоки	5
1.2 Негативні наслідки селевих потоків	10
1.3 Можливості прогнозування грязьових потоків.....	13
1.4 Можливості використання ГІС технологій на прикладі «потопу в Мессіні»	17
РОЗДІЛ 2 ГЕОІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ПРОГНОЗУВАННЯ СЕЛЕВИХ ПРОЦЕСІВ	24
2.1 Вхідні дані методики	25
2.1.1 Космічні знімки	25
2.1.2 Цифрова модель рельєфу	26
2.2 Аналіз геоінформаційного програмного забезпечення	29
2.3 Можливості інструментів геообробки даних для прогнозування ймовірних зон розповсюдження селевих потоків	31
РОЗДІЛ 3 ПРОГНОЗУВАННЯ НЕГАТИВНИХ НАСЛІДКІВ СЕЛЕВИХ ПОТОКІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ГІС ТЕХНОЛОГІЙ	33
3.1 Завантаження та прив'язка космічних знімків	38
3.2 Створення геоінформаційної системи прогнозування селів	34
3.2.1 Побудова цифрової карти курорту Буковель в середовищі ArcGIS	34
3.2.2 Визначення вірогідних зон розповсюдження селевих потоків інструментами ГІС	43
3.3 Тривимірна візуалізація ймовірних селевих потоків у ArcScene	47
3.4 Прогнозування негативних наслідків селевих потоків з використанням ГІС технологій	49
РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ В ГАЛУЗІ	56
ВИСНОВКИ	59
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	60

ВСТУП

Селеві потоки належать до найнебезпечніших геологічних процесів, що становлять значну загрозу для населення, інфраструктури та природного середовища. Застосування геоінформаційних систем (ГІС) у цьому контексті відкриває широкі можливості для підвищення точності прогнозування та зменшення негативних наслідків селевих явищ. Використання ГІС дає змогу знизити ризики для населення, оптимізувати використання ресурсів у процесах прогнозування, здійснювати моніторинг змін ландшафту, удосконалювати системи раннього попередження та налагоджувати ефективну взаємодію з громадськістю.

Отже, основним завданням є прогнозування виникнення селевих потоків і оцінка їх можливих наслідків. Раніше прогнозування сходження селів здійснювалося переважно на основі метеорологічних та геолого-геоморфологічних досліджень. Поява геоінформаційних технологій, а також можливість використання відкритих джерел даних — цифрових моделей рельєфу, космічних знімків, інформації про інфраструктуру тощо — суттєво підвищила ефективність прогнозування негативних наслідків селевих потоків.

Метою роботи є підвищення ефективності прогнозування негативних наслідків сходження селевих потоків шляхом комплексного використання контактних і дистанційних даних.

Для досягнення поставленої мети передбачено виконання таких завдань:

1. Проаналізувати сучасні можливості прогнозування виникнення селевих потоків та оцінювання їх наслідків.
2. Дослідити наявні контактні й дистанційні дані, а також методи їх обробки.
3. Розробити методику прогнозування поширення селевого потоку за різної його висоти з використанням геоінформаційних систем і технологій.
4. Здійснити практичну реалізацію запропонованої методики на прикладі курорту Буковель, с. Поляниця Івано-Франківської області.

Об'єктом дослідження є процеси побудови моделей руху селевих потоків із використанням ГІС-технологій.

Предметом дослідження є методика прогнозування негативних наслідків селевих потоків на основі геоінформаційних систем.

РОЗДІЛ 1 МОЖЛИВОСТІ ПРОГНОЗУВАННЯ ВИНИКНЕННЯ СЕЛЕВИХ ПОТОКІВ

1.1 Поняття про селеві потоки

Селеві потоки — це швидкоплинні руслові потоки, утворені сумішшю води та уламкового матеріалу гірських порід, які раптово формуються в басейнах малих гірських річок



Рисунок 1.1 – Селевий потік, який зруйнував частину міста

Головною характерною рисою селевих потоків є значна концентрація уламкового матеріалу, частка якого становить від 10 до 75 % загального об'єму рухомої маси. Для порівняння, у гірських річках вміст завислих частинок зазвичай не перевищує 1–2 %. За таких показників насиченості об'ємна маса, або щільність, селевої суміші коливається в межах 1100–2500 кг/м³. Підвищена щільність селевого потоку зумовлює його значну інерційність, тобто схильність зберігати

прямолінійний напрям руху. У результаті цього на різких вигинах русла виникають лобові удари потоку та викиди селевої маси[1].

Селеві потоки поділяють на такі типи: зв'язані (структурні), турбулентно-текучі водокам'яні та турбулентно-грязекам'яні[2].

Ще однією характерною особливістю руху селевих потоків є їх пульсаційний, або хвильовий, характер. Протягом сходження селю, яке зазвичай триває від 1 до 4 годин, формується кілька десятків, а іноді й сотні хвиль. Крутий передній край хвилі утворює так звану «голову» селевого потоку. Висота фронту хвилі приблизно у півтора раза перевищує висоту основної частини потоку та складається переважно з великих уламків гірських порід. Типові значення глибини селевих потоків коливаються в межах 2–10 м, а ширина може змінюватися від 3–5 до 50–100 м. Максимальні розміри уламків, що переносяться потоком, сягають 2–4 м, а в окремих випадках — 8–10 м у поперечнику.

Швидкість руху селів варіює від 1–2 до 8–10 м/с (4–7 до 30–36 км/год), тоді як максимальні витрати становлять від 10–50 до 5000–10000 м³/с. Процес сходження селевого потоку супроводжується потужним гулом і відчутними вібраціями земної поверхні.

Максимальні витрати селевих потоків у десятки разів перевищують відповідні показники водних паводків у межах тих самих басейнів. Їх проходження спричиняє інтенсивну глибинну та бічну ерозію русла, а також підмивання схилів і бортів долин. Селеві потоки транспортують до підніжжя гірських хребтів або в русла головних річкових долин надзвичайно великі обсяги уламкового матеріалу. Одноразовий обсяг винесених селю уламкових мас зазвичай становить десятки й сотні тисяч кубічних метрів, а у високогірних районах може досягати 5–6 млн м³. За лічені десятки хвилин один селевий потік переносить таку кількість уламкового матеріалу, яку звичайна гірська річка здатна перемістити лише за 50–100 років[1, 2].

Будова селевих потоків наведена на рис. 1.2-1.3

Важливою рисою селевих потоків є нерегулярний характер їх виникнення. Частота сходження селів у межах окремих басейнів варіює в широких межах — від кількох подій протягом одного сезону до одного випадку раз на 20–40 років, у середньому становлячи приблизно один раз на десятиріччя. Основними безпосередніми чинниками формування селів є інтенсивні або тривалі атмосферні опади, швидке танення снігу й льодовиків, а рідше — прориви тимчасових чи постійних загатних озер. Крім того, селеві потоки можуть виникати внаслідок вулканічних вивержень і сильних землетрусів магнітудою 7–8 балів і більше. Сприятливі умови для розвитку селевих процесів також створюються в результаті господарської діяльності людини, зокрема вирубування лісів, розміщення відвалів гірських порід на схилах та інших видів антропогенного впливу. До необхідних умов зародження селевих потоків належать значні витрати води в руслі, що перевищують максимальні показники водних паводків, наявність рихлоуламкових, легко розмивних гірських порід на дні та схилах долини, а також великі ухили русла й прилеглих схилів. Перша з цих умов забезпечує інтенсивний розмив русла та берегів, друга — залучення уламкового матеріалу до водного потоку й формування селевої суміші, третя — її швидке переміщення вниз по долині.



Рисунок 1.2 – Принципова схема будова селевого потоку

Розвиток селевого процесу, який охоплює стадії підготовки, виникнення, переміщення та акумуляції селевого матеріалу, відбувається в межах окремих

гірських водозбірних територій — так званих селевих басейнів. Найчастіше такими басейнами є невеликі річкові водозбори, що являють собою притоки основних річок і розчленовують макросхили гірських хребтів. Площа селевих басейнів зазвичай коливається в межах від 1–2 до 100–200 км², а середній характерний ухил водотоків становить 100–300 ‰. У районах з посушливим кліматом водотоки в межах селевих басейнів часто мають тимчасовий характер[2].

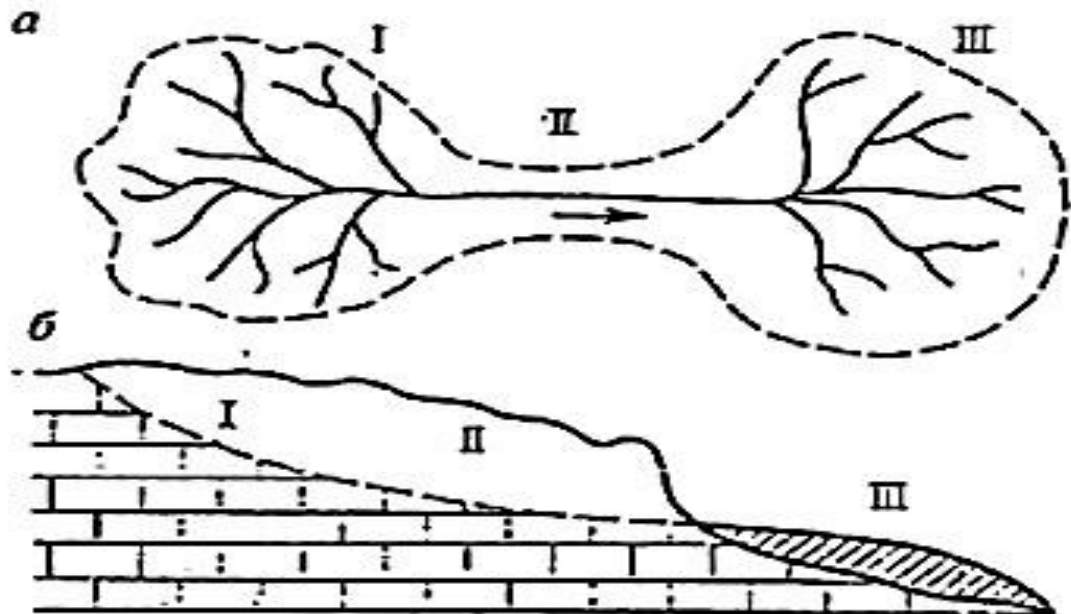


Рисунок 1.3– Схематичний план (а) й продольний профіль (б) селевого потоку: I – ділянка формування селю (водозбірний басейн); II - зона транзиту; III – зона акумуляції.

Серед екзогенних геологічних процесів селеві явища займають проміжне місце між водно-ерозійними (флювіальними) та зсувними, або гравітаційними, процесами. Селеві потоки з невисокою щільністю за своїми характеристиками наближаються до водних паводків, тоді як потоки з високою концентрацією твердого матеріалу подібні до зсувів течії, зокрема зсувів-потоків, спливів та опливин.

Селеві потоки поширені майже в усіх гірських районах світу, а також у деяких зонах підвищених рівнин. Гірські території займають близько 20 % поверхні

суходолу Землі, при цьому селенебезпечні райони охоплюють приблизно 16 % її площі. У межах освоєних територій сходження селів часто супроводжується людськими жертвами та значними матеріальними втратами. Основними формами негативного впливу селевих потоків є руйнування або пошкодження будівель і споруд на шляху їх руху, а також занесення території грязекам'яною масою.

Від дії селевих потоків зазнають шкоди міста й населені пункти, залізничні та автомобільні шляхи, лінії електропередач і зв'язку, нафтогазопроводи, канали, сільськогосподарські угіддя та рекреаційні об'єкти. З метою зниження селевої небезпеки розробляються методи оцінювання селевого ризику, прогнозування виникнення селів, а також заходи захисту від селевих потоків і способи зменшення інтенсивності селевого процесу[1].

У підніжжі гір селеві потоки формують пролювій, або пролювіальні відклади, потужність яких може сягати кількох десятків метрів. Ці відклади мають шарувату будову, що зумовлено багаторазовими виносом селевого матеріалу різної інтенсивності. У товщі пролювію спостерігається чергування суглинків і супісків із пісками, гравієм та галечниковими відкладами.

Протидія руйнівному впливу поверхневих текучих вод здійснюється шляхом застосування профілактичних та інженерно-технічних заходів. До основних профілактичних заходів належать обмеження оранки на схилах, а також заборона вирубування лісів і чагарникової рослинності. Інженерні методи боротьби з яружною ерозією передбачають улаштування швидкотоків у верхній частині ярів і спорудження на їх дні плотових, фашинних або кам'яних загат. Території, прилеглі до верхів'їв ярів, укріплюють шляхом озеленення чагарниками.

Для запобігання розмиванню берегів річковими водами застосовують їх укріплення кам'яним брукуванням на моховій або щебеневій основі, мощення у плотових клітках, а також спорудження спрямовувальних дамб і напівзагат. Дамби зводять на ввігнутих берегах, тоді як напівзагати — на опуклих, використовуючи різні матеріали, зокрема фашини, камінь і бетон.

Захист від селевих потоків забезпечується шляхом будівництва гребель, селеуловлювачів і спрямовувальних дамб, а для охорони автомобільних і залізничних шляхів споруджують селеспуски. Селеспуски виконують у вигляді масивних залізобетонних лотків, встановлених на опорах над дорогами, які забезпечують безпечний перепуск селевого потоку[3].

1.2 Негативні наслідки селевих потоків

Збитки від стихійних лих стали світовою проблемою в контексті забезпечення сталого розвитку людства. За даними Всесвітньої конференції з природних катастроф [4] «Кількість катастроф з високою економічною шкодою (1% і більше від валового річного продукту країни, де вони відбулися) зросло у світі за 1962–1992 р.р. у 4,1 рази. Кількість постраждалих за цей же період збільшилось у 3,5 рази, а загиблих – у 2,1 рази [5]. Середньорічний збиток від селів у світі складає, ймовірно, сотні мільйонів доларів. Число жертв досягає багатьох десятків людей.

Основну небезпеку селеві потоки становлять для життя людей та об'єктів господарської діяльності з огляду на низку чинників. По-перше, сходження селів характеризується раптовістю через складність їх прогнозування; нерідко селеві потоки формуються в нічний час. По-друге, значну загрозу створюють високі швидкості руху та велика глибина потоку. По-третє, потужний ударний вплив селевої маси призводить до руйнування будівель, мостів та інших інженерних споруд. Додаткову небезпеку становить інтенсивна глибинна й бічна ерозія русла, яка спричиняє пошкодження дорожнього полотна, руйнування мостів і прибережних споруд. Крім того, в зоні акумуляції відбувається занесення територій — автомобільних і залізничних шляхів, населених пунктів та сільськогосподарських угідь.

Окрім прямого впливу рухомого селевого потоку, після його сходження виникають вторинні негативні наслідки. Вони пов'язані з утворенням тимчасових

загат у руслах річок, де накопичується основна маса селевого матеріалу. Це може призводити до підтоплення населених пунктів, розташованих вище за течією, прориву таких загат з формуванням вторинного селевого потоку або паводка, а також до виникнення так званого «селевого режиму» на окремих ділянках основних, не селевих, річок.

Ультраселеві потоки зазвичай мають катастрофічний характер, оскільки їхні параметри у сотні разів перевищують показники звичайних селів. Їх сходження супроводжується численними людськими жертвами, призводить до замулення фарватерів судноплавних річок (зокрема, річки Колумбія у США у 1980 р.) та суттєвих перерв у використанні річок як джерел водопостачання.

До об'єктів народного господарства, які найчастіше зазнають шкідливого впливу селевих потоків, належать міста й населені пункти, залізничні та автомобільні дороги, лінії зв'язку й електропередач, канали, трубопроводи, сільськогосподарські угіддя, альпіністські табори, туристичні бази та інші рекреаційні об'єкти.

Основною причиною їх уразливості є розташування на конусах виносу, у днищах долин або міжгірських улоговинах біля підніжжя гірських хребтів, тобто переважно в зонах транзиту й акумуляції селевих потоків. Уразливість лінійних споруд зумовлена їх безперервністю, оскільки вони неминуче перетинають шляхи можливого сходження селів[5, 6].

Селеві потоки, подібно до інших небезпечних природних явищ, завдають як соціальної, так і економічної шкоди. До соціальних наслідків належать загибель людей та порушення нормального ритму життя суспільства. Економічні збитки відображають шкоду, завдану об'єктам народного господарства, та мають грошову оцінку; вони включають як непоправні втрати, так і витрати на ліквідацію наслідків стихії.

Економічні збитки поділяють на прямі та непрямі. Прямий збиток виникає внаслідок безпосереднього фізичного впливу селевого потоку на об'єкт і

піддається точному обліку. До основних об'єктів та галузей, які враховуються при оцінці прямих збитків, належать:

- а) промислові підприємства — будівлі, сировина, готова продукція;
- б) сільське господарство — загибель врожаю та худоби, змив і вимивання ґрунту;
- в) транспорт — дороги, мости, рухомий склад;
- г) лінійні споруди — лінії електропередач, газопроводи, іригаційні канали;
- д) спортивно-оздоровчі та рекреаційні будівлі і споруди в гірських районах[6].

Для оцінки розміру прямих збитків до втрат у господарських об'єктах додають витрати на ліквідацію наслідків стихійного лиха.

Непрямі збитки виникають через порушення нормального ритму господарської діяльності — зупинки або перебої в роботі транспорту, постачанні електроенергії та газу, систем зв'язку тощо. За оцінками, обсяг непрямих збитків може становити від 50 до 200 % прямих втрат. На практиці в більшості випадків враховують лише прямий збиток.

Сумарна величина прямих і непрямих втрат формує фактичну шкоду. Крім того, виділяють очікувані збитки — потенційні прямі та непрямі втрати, що можуть виникнути у разі сходження селів. Розмір очікуваної шкоди є ключовим показником при обґрунтуванні заходів захисту від селевих потоків[7, 8].

1.3 Можливості прогнозування грязьових потоків

Питання прогнозування утворення селів вивчаються вже тривалий час. Було виділено основні групи факторів, що впливають на формування селевих потоків та дозволяють їх прогнозувати.

Селеві потоки є складними явищами, виникнення і розвиток яких визначаються поєднанням природних та антропогенних факторів. Ці фактори об'єднані у три групи: клімато-ландшафтну, геолого-геоморфологічну та групу, пов'язану з наслідками господарської діяльності людини(табл. 1.1.) [9].

Таблиця 1.1 – Фактори утворення селевих потоків

Група факторів	Особливості селевого процесу, які вони переважно визначають
1. Клімато-ландшафтна (клімат, сучасне заледеніння, багаторічна мерзлота ґрунту, ґрунторослинний покрив)	Зональність селевих явищ. Режим селів (тривалість та календарні терміни селенебезпечного періоду)
2. Геолого-геоморфологічна (Склад гірських порід, неотектоніка, рельєф, сучасний вулканізм, сейсмічність)	Масштаб селевих потоків (обсяг виносів та довжина шляху). Речовинний склад та реологічні типи селів
3. Антропогенна (зnelіснення, перевипас худоби, розорювання схилів, наслідки гірничодобувного виробництва, транспортного та цивільного будівництва)	Зростання активності селів та площі селенебезпечних територій.

До першої групи факторів належать ті, що безпосередньо пов'язані з кліматичними умовами: інтенсивні дощі, сніговий покрив, сучасне гірське заледеніння, багаторічна мерзлота ґрунту та ґрунтово-рослинний покрив. До другої групи входять рельєф, склад гірських порід та ендегенні процеси, зокрема неотектоніка, землетруси і вулканічна активність.

Серед клімато-ландшафтних факторів особливе значення мають зливи. Більшість селевих потоків формується саме внаслідок зливових або тривалих дощів. За статистикою Європи 1970-х років, близько 95 % випадків селевих потоків було пов'язано зі зливами або затяжними дощами. Злива визначається як інтенсивний дощ, що перевищує певний поріг, враховуючи його тривалість.

Нижнім порогом інтенсивності прийнято вважати 0,5 мм/хв при тривалості 5 хвилин або 0,2 мм/хв при тривалості 1 години. Максимальна зареєстрована інтенсивність зливи досягає 31 мм/хв, а тривалість — до 24 годин; загальна товщина опадів коливається від 30 до 1800 мм[9].

Рідкі опади, які є ключовим чинником формування паводків і дощових селів, поділяються на три основні типи з урахуванням інтенсивності, тривалості та площі зрошення: зливи, зливові дощі та облогові дощі.

Зливи — короткочасні й інтенсивні опади тривалістю 2–4 години з середньою інтенсивністю 10–20 мм/год. Вони охоплюють невеликі території — до десятків або сотень квадратних кілометрів, при цьому за 2–4 години випадає 100–150 мм опадів.

Зливові дощі — тривалі й інтенсивні опади, що тривають від кількох годин до кількох діб із середньою інтенсивністю 2–10 мм/год. Вони охоплюють значні площі — від десятків тисяч до сотень тисяч квадратних кілометрів, забезпечуючи за кілька діб 150–300 мм опадів.

Облогові дощі — тривалі та малоінтенсивні, що тривають від кількох годин до декількох діб із рівномірною інтенсивністю менше 2 мм/год. Вони зрошують великі простори — десятки та сотні тисяч квадратних кілометрів.

Під час випадання дощів частина опадів затримується кронами дерев та чагарників, частина інфільтрується в ґрунт, а решта формує поверхневий стік. Найсприятливіші умови для поверхневого стоку створюються на схилах із виходами скельних, глинистих та суглинистих порід, а також на альпійських луках.

Швидкий стік води зі схилів у русло спричиняє збільшення розходу у десятки або сотні разів, що призводить до глибинного та бокового розмиву русла і перетворення водного паводку на селевий потік.

У формуванні дощових селів також беруть участь крапельна ерозія та ґрунтовий стік. Зі збільшенням інтенсивності опадів зростає діаметр крапель (від 1

до 6 мм) та швидкість їх падіння (від 4 до 9 м/с). Ударна дія крапель зменшує водопроникність ґрунтів, збільшуючи поверхневий стік, підвищує каламутність потоків малої глибини на схилах і, зрештою, у руслі[9].

Геолого-геоморфологічні чинники. Рельєф. Особливості рельєфу значною мірою впливають на формування селевих потоків. До ключових характеристик рельєфу, що визначають цей вплив, належать абсолютна висота, глибина та густота розчленування, а також ярусність. Зі зростанням абсолютної висоти гір підвищується крутість схилів і швидкість денудаційних процесів. На крутих схилах збільшується рушійна сила водних потоків і, відповідно, їх здатність до розмиву. Вища швидкість руйнування гірських порід на великих висотах забезпечує ефективнішу підготовку твердих компонентів селевих потоків. Крім того, із зростанням висоти збільшується середній ухил постійних і тимчасових водотоків, що створює сприятливі умови для формування селів. Від абсолютної висоти також залежить наявність сучасного гірського заледеніння, яке суттєво впливає на процеси селеформування. Водночас високі, але слабо розчленовані масиви гір не забезпечують суттєвого посилення селевих процесів.

Склад гірських порід. При оцінці взаємозв'язку між гірськими породами та селевими потоками доцільно використовувати класифікацію порід, прийняту в інженерній геології, де основним критерієм є їх стійкість до атмосферних впливів. У районах, складених переважно осадовими породами, спостерігається більший обсяг виносу завислих наносів. Загалом магматичні породи найменш сприятливі для формування твердих компонентів селів; осадові цементовані породи більш сприятливі, тоді як осадові нецементовані (пухкі) породи є найбільш сприятливими для розвитку селевих потоків[10].

Велику роль у формуванні селевих потоків відіграють пухкі четвертинні відклади різного походження. Саме ці породи зазвичай забезпечують тверду складову сучасних селів. У районах із легко вивітрюваними або розмивними породами селеві потоки утворюються частіше. Речовий склад селевих потоків

повністю визначається складом гірських порід у зонах їхнього зародження та джерелах твердого живлення.

Вплив господарської діяльності. Дія людини на перебіг селевих процесів може бути прямою або опосередкованою. Прямий вплив проявляється у створенні штучних осередків зародження селів: складуванні відвалів гірничодобувних підприємств, будівництві водосховищ із ненадійними греблями, дорожніх та інших будівельних роботах, застосуванні вибухових речовин, які порушують рівновагу покривних відкладів на схилах. Круті укоси відвалів формують великі маси пухкої породи, що при зволоженні розмиваються та сповзають, даючи початок селевому потоку. Руйнування гребель у гірських умовах створює проривну хвилю з великою енергією, яка швидко перетворюється на селевий потік.

Селеві потоки, що формуються внаслідок прямої людської діяльності та зміни умов формування твердої і рідкої складових, відносяться до антропогенних (техногенних). Їхня кількість значна, хоча поширення зазвичай локальне[9, 11].

Наприклад, у Китаї зафіксовано 28 шахт, де внаслідок зсувів і розмиву відвалів утворилися селеві потоки. В Україні подібні процеси на вугільних відвалах трапляються досить часто.

Опосередкований вплив людини на селеві процеси проявляється через знищення природного рослинного покриву, насамперед лісового. Цей тип впливу почався ще в епоху стародавніх цивілізацій і триває до сьогодні. У багатьох гірських системах верхня межа лісу опустилася на 200–400 м і більше, а первісні лісові спільноти були замінені рідколіссями, луками або порожніми ділянками. Зведення лісів та деградація рослинності через перевипас значно посилили ерозійні процеси та активізували формування селевих потоків, включно з появою нових районів їх виникнення.

В Індії, у штаті Пенджаб (схили хребта Сивалик), через багатовікову інтенсивну діяльність у землеробстві та тваринництві мусонні листопадні ліси були замінені сухим степом. Внаслідок активізації селевих і тимчасових водотоків

родючі землі підніжжя хребта засипаються наносами. В альпійських країнах Європи селеві процеси посилюються внаслідок освоєння гір у XVIII–XIX ст. У Великобританії, найменш лісистій країні Європи, випадки сходу схилових селів стали доволі частими. Людська діяльність «поширила» селеві потоки і на височини рівнин: зведення лісів і орання земель на Східноєвропейській рівнині, разом із посиленням яротворення, спричинили окремі сходи селів.

Селеві потоки, що виникли через порушення ґрунтово-рослинного покриву та зміну режиму стоку, належать до природно-антропогенних. На відміну від чисто антропогенних (техногенних) потоків, їхнє поширення носить переважно регіональний характер, оскільки зведення лісів і перевипас зазвичай охоплювали великі території[9, 12].

1.4 Можливості використання ГІС технологій на прикладі «потопу в Мессіні»

Після «потопу в Мессіні» ENEA створила добре організовану базу геоданих про селеві потоки, що включала інвентаризацію випадків сходу селів та тематичні дані. Базу реалізували з використанням різного ГІС-програмного забезпечення (ArcView, ArcGIS, QGIS), але повністю оновили в останніх версіях QGIS (до 3.28 – Firenze). Вона стала основним інструментом для створення оновленої інвентаризації селів, оцінки їх схильності до зсувів та складання карт небезпеки й ризику.

Було проведено інвентаризацію селів, що включала сотні стрімких неглибоких зсувів, спричинених проливними дощами 1 жовтня 2009 року, ідентифікованих за допомогою аерофотознімків і польових спостережень. Для геоморфологічного аналізу використовували високомасштабні аерофотознімки, отримані Управлінням цивільного захисту після цієї події. Основою морфометричного аналізу стала цифрова модель місцевості з розміром комірки 2 м.

Через відсутність детальної ґрунтової карти застосували геологічну карту провінції Мессіна масштабу 1:50 000 для визначення геотехнічних характеристик (кут тертя, щільність і когезія). Чотирнадцять відкритих геологічних формацій досліджуваної території були класифіковані на шість типів: зернисті А і В, шаруваті А і В, масивні та кристалічні.

Карту товщини ґрунту побудовано за модельним підходом GIST — напівоб’єктивним комплексним методом, який дозволяє визначити чотири індекси для рівнянь оцінки(1) [19]:

$$h_i = -K_c * C * \eta * \psi^{-1}, \quad (1)$$

де h_i — представляє товщину ґрунту в кожній комірці DTM;

K_c — калібрувальний параметр, який регулює нормалізовані значення інших індексів до реальних значень товщини; C — індекс, пов’язаний із кривизною схилу;

η — індекс, пов’язаний із положенням уздовж профіль ухилу, а ψ пов’язаний з критичним порогом ухилу.

Створення карти товщини ґрунту базується на розробці DTM за допомогою інструментів «r.slope.aspect» і «r.flow», алгоритмів GRASS, доступних у QGIS, а також значень ухилів і літотехнічних характеристик у відповідності з інвентаризованими потоки сміття. Набір даних 114 польових вимірювань використовувався для ідентифікації параметра K_c і калібрування рівняння. Набір даних Corine Land Cover (CLC) з 1990 по 2018 рік був отриманий, що стало основою для дискретизації відкритих елементів. Було ідентифіковано 17 різних класів серед штучних поверхонь (3), сільськогосподарських територій (4) та лісових і напівприродних територій.

Подальша детальна інформація про громадські будівлі взята з регіональної технічної карти 2012 року (1:10 000) регіональної адміністрації Сицилії. інтересів

та електричних мереж, а також з Open Street Maps для оновлень головним чином про мережу доріг і залізниці. Програма графічного моделювання QGIS («Graphic Modeller») використовувалась для виконання послідовностей алгоритмів, необхідних для оцінки товщини ґрунту та розрахунку биття. Цей безперечно потужний інструмент обробки ГІС дозволив створювати складні моделі за допомогою простого та зручного у використанні інтерфейсу.

Моделі можна експортувати мовою Python та інтегрувати в бібліотеки інструментів ГІС іншого програмного забезпечення для геопросторового аналізу та візуалізації.

Поширення матеріалу, який відривається швидким селевим потоком, визначається комбінацією численних факторів і процесів, що дуже складно точно відтворити та проаналізувати за допомогою повних моделей. Найпоширенішими є два основні типи методів, що описують певні параметри фізичних процесів. Вибір підходу зазвичай залежить від масштабу досліджуваної території та цілей роботи, оскільки кожен з них відрізняється рівнем деталізації, охопленням та трудовитратами.

Чисельне моделювання особливо ефективно для аналізу конкретної події на рівні схилу та для розробки заходів зі стабілізації схилів, хоча останні дослідження показують його більш широке застосування.

Емпіричні або геометричні методи базуються на простих кореляціях між параметрами зсуву та обсягом матеріалу. Незважаючи на значне спрощення динаміки процесів, вони дозволяють досить точно прогнозувати масштаби поширення селевого потоку. Крім того, такі методи успішно підтримують процес прийняття рішень і відповідають сучасним рекомендаціям з оцінки ризику зсувів[19].

У цьому дослідженні використано емпіричний та геометричний підхід. Оцінка небезпеки поширення матеріалу проводилася на основі 100 випадково обраних ділянок ініціації з інвентаризації зсувів. Цей набір даних було поділено на два

піднабори: перші 50 ділянок із польовими вимірюваннями товщини ґрунту, зафіксованими за допомогою Garmin GPSMAP 65, застосовувалися для калібрування емпірично-статистичних моделей, заснованих переважно на кореляції геометричних параметрів, та аналітичних/чисельних моделей, що імітують конкретний процес поширення. Інші 50 ділянок використовувалися як перевірочний набір даних і були відібрані з урахуванням того, щоб уникнути об'єктів, що мають неповну або нечітку інформацію. На практиці уступи, місця початку, траєкторії або підніжжя деяких зсувів, зафіксованих в інвентарі, не завжди чітко визначаються на аерофотознімках.

Набір даних тренувальних зсувів було проаналізовано для застосування рівняння Легроса (2) [19]:

$$L = aV^b, \quad (2)$$

де L – дальність селевого потоку; V – об'єм зони ініціювання.

За допомогою регресійного аналізу відстані витікання та об'єму ($R^2 = 0,7524$) були визначені параметри a та b для конкретного місця.

До перевірочного набору даних зсувів було застосовано три різні інструменти ГІС, реалізовані через кілька алгоритмів бібліотеки обробки QGIS. На основі цифрової моделі рельєфу (DTM) перший інструмент створив новий лінійний шар, що відображає траєкторії крапель води — шлях, який вода проходить по поверхні землі.

Другий інструмент, використовуючи специфічні для місця параметри рівняння Легро, поділяв кожен шлях крапельної води на сегменти на певній розрахунковій відстані. Третій інструмент призначав розподіл швидкості уздовж цих траєкторій. Динаміка поширення селевого потоку значно спрощувалася: початкова швидкість на вершині уступу встановлювалася рівною 0 м/с, мобілізовані маси прискорювалися до максимальних 8,4 м/с на чверті шляху, після

чого уповільнювалися. При цьому вважалося, що об'єм матеріалу залишається сталим, а реологічні характеристики — однорідними (щільність $\delta = 2000 \text{ кг/м}^3$). Сила удару кожного потенційного швидкого селевого потоку оцінювалася пропорційно кінетичній енергії та дискретизувалася у чотири класи. Основні спрощення включали стандартизацію процесу поширення і лінійну зміну швидкості на фазах прискорення та уповільнення.

Для кожної траєкторії створювався 10-метровий буфер, а багатокутники траєкторії поділялися на двадцять секторів із різними значеннями сили удару. Таким чином, територія аналізу дискретизувалася на зони з різною сприйнятливістю до селевих потоків та руйнівною здатністю матеріалу.

Аналіз впливу включав оцінку всіх елементів на території, що можуть піддаватися небезпеці та втратам: населення, будівлі, інфраструктура, майно, економічна діяльність, громадські послуги та інші цінності. З інтеграцією даних CLC та інших джерел було виділено шістнадцять типів елементів: безперервна та розривна міська тканина, чотири типи громадських будівель (школи, церкви, цвинтарі, інші), культивовані землі, ліси, пасовища та чагарники, дороги, автомагістралі, залізниці, АЗС, лінії електропередач і вежі.

Кожному класу присвоювалось відносне значення від 1 до 4 залежно від соціальної та економічної важливості. Вразливість визначалася як ступінь втрати елементів під час природної події (шкала 0–1, від «без пошкоджень» до «повна втрата»). Для населення вразливість відповідала ймовірності того, що люди стануть жертвами явища.

Для оцінки вразливості використовували емпіричний підхід, присвоюючи дискретні значення для різної інтенсивності зсувів. У цьому дослідженні відкритим елементам надавали ступінь вразливості від 1 до 4 на основі очікуваної реакції на різні інтенсивності селевих потоків. Ключові принципи присвоєння значень:

- Будівлі громадського значення (наприклад, школи) та розривна міська тканина мали більшу стійкість порівняно зі старими будівлями у історичних центрах і церквами;

- Віадуки та тунелі робили автомагістралі менш вразливими, ніж звичайні дороги та залізниці.

Уразливість визначається як «умови, зумовлені фізичними, соціальними, економічними та екологічними факторами, які підвищують сприйнятливість громади до впливу

Порівняння між спостережуваними та оціненими значеннями биття за допомогою рівняння для конкретного місця дозволило оцінити ефективність використаного рівняння.

Статистичне вимірювання ($R_2=0,7369$) виражає хорошу здатність прогнозувати, проте враховуючи, що оцінені відстані відтікання можуть змінюватися від 0,5 до 2 разів від спостережуваного шляху селевих потоків.

Розміри спостережуваних зсувів сильно відрізняються за геометричними та кінематичними параметрами з відмінностями навіть на один-два порядки величини для площі, об'єму та швидкості.

Дискретизація досліджуваної області за значенням ризику відповідала класичному рівнянню ризику (3):

$$R = H * E * V \quad (3)$$

де R – значення ризику, а площа H , E та V відповідно – небезпека, відкриті елементи та значення вразливості.

Значення E і V помножили на значення класу інтенсивності усі поділені на класи від 1 до 4. Набір значень (від 1 до 64) був далі розділений на 4 однорідні класи шляхом приписування значення 0 частинам території, не ураженій зсувами.

Попередні результати показують, що зони з вищим рівнем ризику зосереджені в безперервних районах міської тканини, де розташовані більш важливі та вразливі відкриті елементи. Цей аспект чітко проявляється у випадку двох селевих потоків.

Подальші вдосконалення будуть зосереджені на консолідації процесу аналізу та на застосуванні методології в інших областях, схильних до сміттєвих потоків [19].

РОЗДІЛ 2 ГЕОІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ПРОГНОЗУВАННЯ СЕЛЕВИХ ПРОЦЕСІВ

Структурна схема методики прогнозування негативних наслідків селевих потоків з використанням ГІС технологій наведена на рис. 2.1.

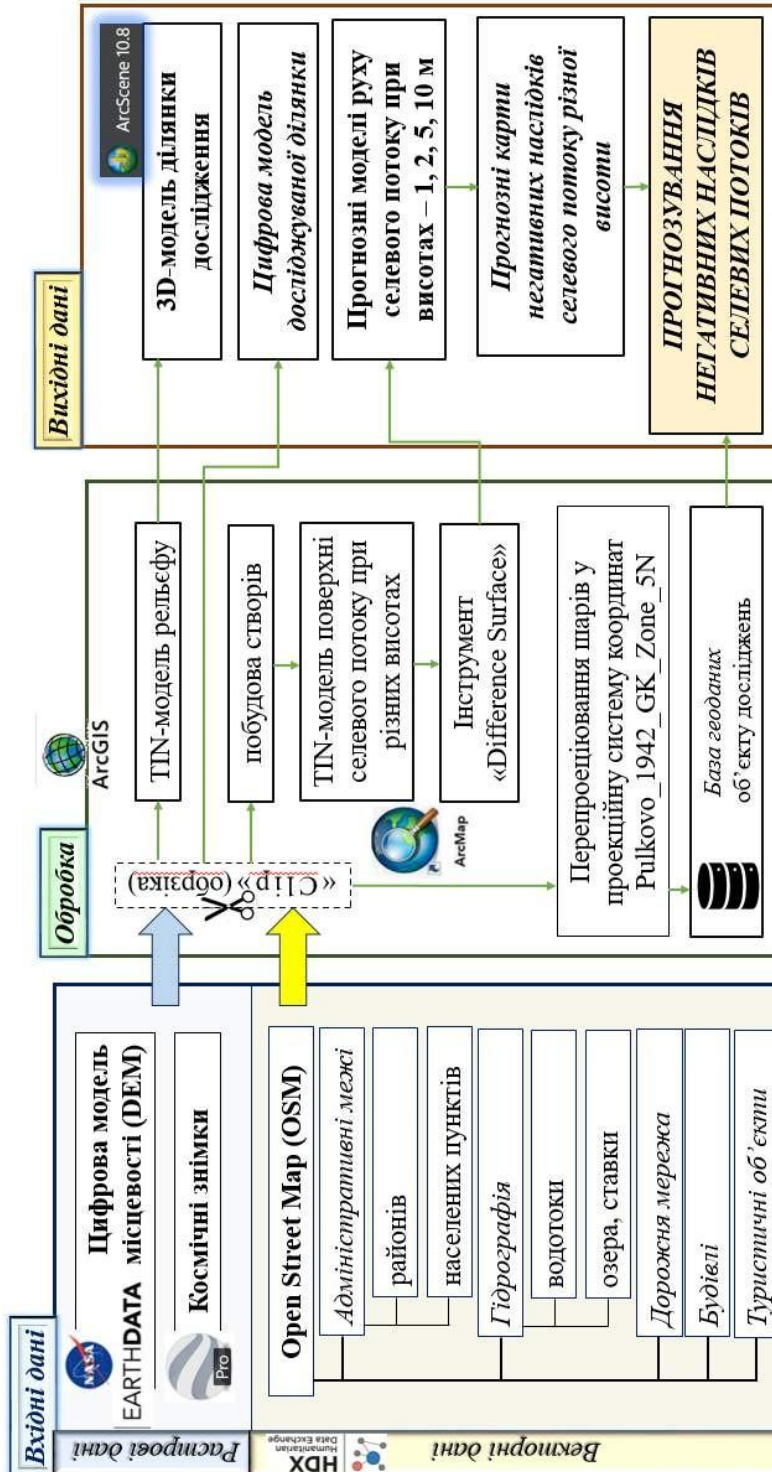


Рисунок 2.1 – Структурна схема розробленої методики

2.1 Вхідні дані методики

У якості вихідних даних для виконання методики прогнозування зон впливу селевих потоків потрібні наступні дані:

- космічні знімки високої роздільної здатності;
- цифрова модель рельєфу;
- векторні дані OSM (Open Streer Map).

2.1.1 Космічні знімки

Дані дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) є надзвичайно важливими для моделювання руху селевих потоків та визначення об'єктів, що потрапляють у зону лиха. Ідентифікувати такі об'єкти можливо лише за допомогою знімків з надвисокою просторовою роздільною здатністю. У вільному доступі доступні негеоприв'язані знімки через програму Google Earth Pro.

Google Earth Pro — це тривимірний глобус, який дозволяє обробляти, аналізувати та візуалізувати геодані на основі супутникових знімків високої роздільної здатності. Це розширена версія Google Earth Free, що надає доступ до аерофотознімків, ГІС-даних, панорам вулиць, історичних знімків та іншої корисної інформації. За допомогою Google Earth Pro можна створювати плани місцевості, вимірювати та візуалізувати об'єкти, у тому числі в тривимірному форматі.

Серед додаткових професійних функцій: друк скріншотів у високій роздільній здатності, додавання великих наборів ГІС-даних на карту, швидкий імпорт адрес, вимірювання площі багатокутниками чи колами, а також інтеграція шарів з демографічною статистикою, даними про земельні ділянки та завантаженість доріг. Програма повністю безкоштовна, потрібна лише проста реєстрація. Для роботи Google Earth Pro використовує дані компанії Maxar Technologies.

Більшість території України покрита мозаїкою супутникових знімків з просторовою роздільною здатністю не гірше 1 м (продукт Махар Vivid), а великі міста мають знімки з роздільною здатністю до 31 см на піксель (продукт Махар Metro), отримані з супутників DigitalGlobe: WorldView-4, WorldView-3, WorldView-2, WorldView-1 та GeoEye-1. Найчастіше використовують WorldView-3.

WorldView-3 — перший комерційний мультиспектральний супутник надвисокої роздільної здатності з великим корисним навантаженням. Він працює на орбіті висотою 617 км, забезпечуючи роздільну здатність 31 см у панхроматичному режимі, 1,24 м — у мультиспектральному, 3,7 м — у короткохвильових ІЧ-каналах (SWIR), а також 30 м — за допомогою апаратури CAVIS. Період повторного спостереження складає менше доби.

Супутник здатний проводити зйомку до 680 000 км² щодня, що дозволяє Махар Technologies оперативно отримувати актуальні дані. Основні переваги WorldView-3: надвисокий просторовий дозвіл, широкий спектр каналів зйомки (панхроматичний, 4 стандартні VNIR: blue, green, red, near-IR1; 4 додаткові VNIR: coastal, yellow, red edge, near-IR2; SWIR-канали для проходження крізь димку, туман, пил та дим; 12 CAVIS-каналів для корекції хмарності, аерозолів, водяної пари, льоду та снігу), зйомка великих площ (65,5 × 112 км, 5 смуг), а також численних точкових об'єктів (13,1 × 13,1 км кожен)[20].

2.1.2 Цифрова модель рельєфу

Існує багато різних цифрових моделей місцевості (ЦММ) у відкритому доступі, які можна використовувати у дослідженні. Однією з таких ЦММ є дані з супутника PALSAR.

З 2006 по 2011 рр. радар із синтетичною апертурою (SAR) L-діапазону PALSAR забезпечив детальне спостереження за будь-якою погодою вдень і вночі,

а також інтерферометрію з повторним проходженням. Дані PALSAR отримано з кількох режимів спостереження зі змінною поляризацією, роздільною здатністю, шириною смуги та кутом відхилення від надира.

PALSAR був одним із трьох інструментів на супутнику Advanced Land Observing Satellite (ALOS), також відомому як DAICHI, розробленому для створення карт, точного регіонального спостереження за територією, моніторингу стихійних лих та дослідження ресурсів. ALOS була місією Японського агентства аерокосмічних досліджень (JAXA) [21].

PALSAR має два режими тонкого променя: одинарна поляризація (FBS) і подвійна поляризація (FBD), а також квадрополяризація, також відома як поляриметричний режим (PLR). Широкий промінь ScanSAR (WB1, WB2) працює зі значною втратою роздільної здатності. Дивіться таблицю 2.1.

Таблиця 2.1 – Варіанти ЦММ отримані за даними PALSAR [21]

Властивість набору даних	Висока роздільна здатність	Fine Resolution, доп	ScanSAR	Поляриметричний
1	2	3	4	5
Тимчасове покриття	2006-2011 роки	2006-2011 роки	2006-2011 роки	2006-2011 роки
Просторове покриття	Північна, Центральна та Південна Америка – повністю За межами Америки – частково	Північна, Центральна та Південна Америка – повністю	Північна, Центральна та Південна Америка – повністю	Північна, Центральна та Південна Америка – повністю
Режим променя	FBS, DSN	FBD	WB1, WB2	PLR

Продовження таблиці 2.1

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

Центральна частота	L-діапазон (1,27 ГГц)	L-діапазон (1,27 ГГц)	L-діапазон (1,27 ГГц)	L-діапазон (1,27 ГГц)
Поляризація	HH або VV	HH+HV або VV+VH	HH або VV	HH+HV або VV+VH
Просторова роздільна здатність	10 м	20 м	100 м	30 м
Ширина смуги	70 км	70 км	250-350 км	30 км
Кут поза Надіром	34,3° (за замовчування м)	34,3° (за замовчування м)	27,1° (за замовчування м)	21,5° (за замовчування м)
Ліцензія	Перегляньте вкладку «Ліцензія та посилання на дані»	Перегляньте вкладку «Ліцензія та посилання на дані»	Перегляньте вкладку «Ліцензія та посилання на дані»	Перегляньте вкладку «Ліцензія та посилання на дані»
Формат файлу	L1.0, L1.1, L1.5, L2.2, RTC_HI_RES, KMZ,	L1.0, L1.1, L1.5, L2.2, RTC_HI_RES, KMZ,	L1.0, L1.1, L1.5, L2.2, RTC_HI_RES, KMZ,	L1.0, L1.1, L1.5, L2.2, RTC_HI_RES, KMZ,
Провайдер	Японське агентство аерокосмічних досліджень (JAXA).	Японське агентство аерокосмічних досліджень (JAXA).	Японське агентство аерокосмічних досліджень (JAXA).	Японське агентство аерокосмічних досліджень (JAXA).
Дата публікації:	2006-2011 роки	2006-2011 роки	2006-2011 роки	2006-2011 роки

ЦММ можна завантажити з геопорталу EarthDATA [22]. Його інтерфейс показаний на рис 2.2.

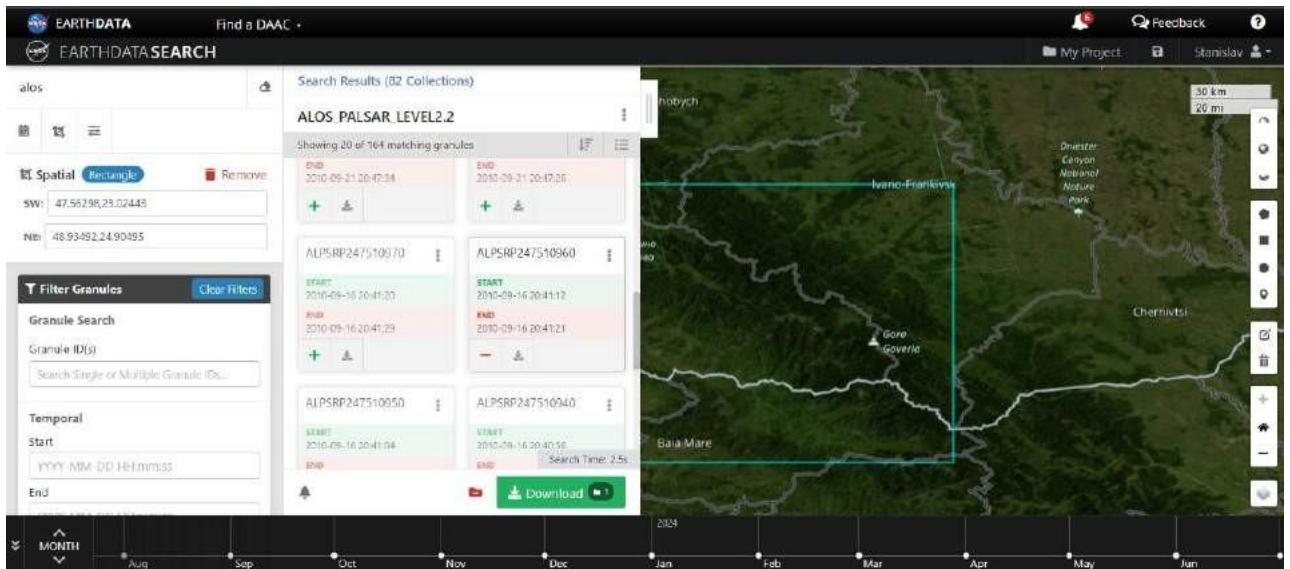


Рисунок 2.2 – Геопортал EarthDATA

2.2. Аналіз геоінформаційного програмного забезпечення

Для ефективного прогнозування наслідків селевих потоків необхідне застосування геоінформаційних систем (ГІС) та сучасних технологій. На сьогодні існує багато ГІС, здатних вирішувати завдання з просторовою прив'язкою даних. Найпопулярнішими є ArcGIS та QGIS, які відрізняються функціональністю та можливостями.

ArcGIS — це професійна геоінформаційна система для обробки та аналізу великих обсягів даних, що забезпечує контроль топологічних зв'язків і широкий спектр аналітичних інструментів. Платформа включає набір інтегрованих програмних додатків, які дозволяють працювати з необробленими даними, виконувати складний аналіз і застосовувати спеціалізовані модулі. Це дає змогу об'єднувати різні типи даних про території та застосовувати комплексні аналітичні методи.

Результати аналізу можуть бути представлені у вигляді карт, графіків та діаграм. ArcGIS дозволяє розв'язувати як прості просторові завдання (побудова буферів, операції з полігонами, регресійний аналіз, класифікація зображень), так і

складні (моделювання просторових взаємозв'язків, розрахунок оптимальних маршрутів, прогнозування пожеж, повеней чи розповсюдження злочинності).

Система підтримує роботу з різними типами даних — векторними, растровими та табличними — і забезпечує створення нових наборів даних. Для тематичного аналізу доступні спеціалізовані методи, а шаблони й готові функції дозволяють створювати додатки без програмування. Карти ArcGIS забезпечують відображення об'єктів незалежно від формату даних, а координати можна зберігати з високою точністю.

Незважаючи на широкий функціонал, робота з растровими зображеннями обмежена модулем Spatial Analyst, що дозволяє виконувати операції переважно з двома растрами. ArcGIS підтримує хмарні сервіси, настільні та мобільні додатки, веб-клієнти, але велика кількість модулів і функцій робить систему досить складною для освоєння. Архітектура платформи дозволяє використовувати її на ПК, серверах, через веб-інтерфейс або в польових умовах.

QGIS (Quantum GIS) — це геоінформаційна система з відкритим вихідним кодом, призначена для вирішення типових завдань ГІС. Проект розвивається фондом OSGeo і працює на платформах Linux, Unix, Mac OSX, Windows та Android, підтримуючи широкий спектр векторних, растрових форматів і баз даних.

QGIS забезпечує широкий функціонал для аналізу та візуалізації геопросторових даних, працюючи з растровими та векторними шарами, базами даних та різними форматами даних. Система підтримує підключення додаткових модулів (плагінів), що дозволяє розширювати її можливості та інтегрувати різні методи обробки даних, використовуючи QGIS як універсальну графічну платформу для ГІС-завдань.

Основні можливості Quantum GIS включають перегляд даних, накладання один на одного векторних і растрових даних в різних форматах і проекціях без перетворення у внутрішній, або загальний формат; дослідження даних і створення

мап; керування даними: створення, редагування і експорт; аналіз просторових даних на просторових базах даних та інших форматах, що підтримуються системою.

Це включає в себе векторний аналіз, відбір, геообробка, геометрія і управління базами даних і не тільки. Quantum GIS є відкритим джерелом, що розповсюджується під ліцензією GNU General Public License [23].

2.3. Можливості інструментів геообробки даних для прогнозування ймовірних зон розповсюдження селевих потоків

У середовищі ArcGIS у програмному модулі 3D Analyst є інструмент «Different Surface»[15], який дозволяє визначати вірогідні зони проходження селевих потоків.

Інструмент «Different Surface» здійснює геометричне порівняння трикутників двох вхідних поверхонь. Трикутники першої поверхні класифікуються як такі, що повністю розташовані над або під другою (базовою) поверхнею, або як ті, що перетинаються з нею. У разі виявлення перетинів трикутники розбиваються на частини, які потім визначаються як повністю над, під або компланарні щодо базової поверхні. Сусідні трикутники та їхні частини з однаковою класифікацією об'єднуються в полігони, об'ємні характеристики яких сумуються, утворюючи підсумкове значення для кожного полігону. Результат записується у вихідний клас просторових об'єктів – полігонів.

Різницеву поверхню створюють за допомогою триангуляції Делоне з обмеженнями та геометричного порівняння обох вхідних поверхонь. Значення z на цій поверхні відображає висотну різницю між поверхнями: $z = 0$ означає збіг висот, позитивні значення – перша поверхня над другою, від'ємні – під базовою поверхнею. Якщо потрібен растр різниці, TIN-поверхню можна перетворити на растр за допомогою лінійної інтерполяції.

Геометричні трикутники утворюють TIN-модель (Triangular Irregular Network – нерегулярна триангуляційна мережа), яка дозволяє цифрово відобразити структуру поверхні. TIN є векторною моделлю: вершини (крапки) з'єднуються ребрами, утворюючи неперервну мережу трикутників, що не перетинаються. Ребра TIN важливі для визначення розташування лінійних об'єктів при побудові поверхні.

Через нерівномірне розташування вузлів, TIN має вищу роздільну здатність в областях з нерівною поверхнею або там, де потрібна велика деталізація, і нижчу в однорідних ділянках. Вхідні просторові об'єкти зберігають свої координати, що дозволяє TIN відтворювати точні значення між відомими точками. Вимірювання можуть вестися в метрах, футах або десяткових градусах.

TIN-моделі менш поширені, ніж растрові, і їх побудова та обробка є більш ресурсомісткою. Вартість високоякісних вихідних даних значна, а обробка TIN через складну структуру менш ефективна, ніж робота з растром. Зазвичай TIN застосовують для невеликих територій, де потрібна висока точність – наприклад, в інженерних розрахунках площі, об'єму та планіметричної площі.

Максимальний розмір TIN залежить від доступної пам'яті, але рекомендується обмежувати його кількома мільйонами вузлів, щоб забезпечити зручність використання та підвищити продуктивність системи. Великі TIN-моделі доцільно реалізовувати через набори даних Terrain.

Як і раніше, через нерівномірне розташування вузлів TIN має високу деталізацію у складних ділянках поверхні і меншу там, де поверхня однорідна[16].

РОЗДІЛ 3 ПРОГНОЗУВАННЯ НЕГАТИВНИХ НАСЛІДКІВ СЕЛЕВИХ ПОТОКІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ГІС ТЕХНОЛОГІЙ

Практична реалізація запропонованої методики приведена для населеного пункту Буковель (Поляниця), Надвірнянського району, Івано-Франківської області. Село Поляниця є курортним населеним пунктом, який щорічно відвідує понад 1,6 млн туристів [17]. Курорт Буковель знаходиться в долині р. Прутець, лівої притоки р.Прут. Щорічно в цій місцевості випадає від 800 до 1400 мм опадів [18] , що потенційно може спричинити утворення селевих потоків та нести пряму загрозу місцевим мешканцям і туристам.

Надалі наведена методика дослідження та практична реалізація.

3.1 Завантаження та прив'язка космічних знімків

У програмі Google Earth Pro завантажуюмо знімки с. Буковель без географічної прив'язки у максимальній якості (8K UHD 8192x4320 px) (рис. 3.1). Для покриття усієї території населеного пункту знадобилось 11 графічних зображень у форматі tiff.

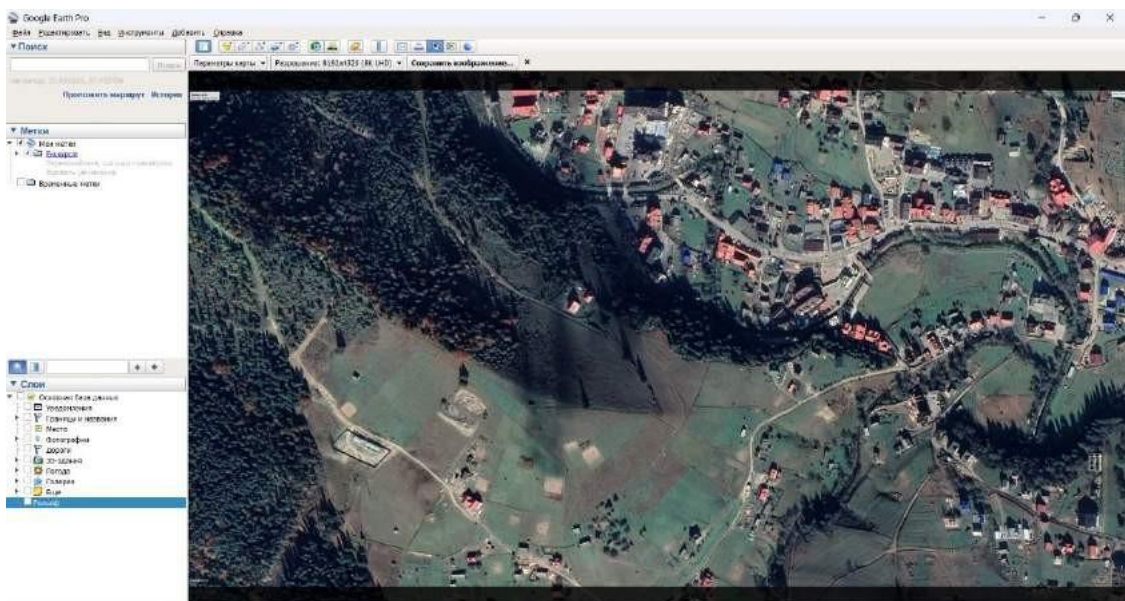


Рисунок 3.1 – Збереження знімків у програмі Google Earth Pro

У програмі ArcMap 10.8 проводимо географічну прив'язку усіх знімків за допомогою інструмента «Georeferencing» (рис. 3.2). Для подальшого використання цих файлів у ArcGIS Online їх разом з файлами прив'язки потрібно заархівувати у форматі zip.

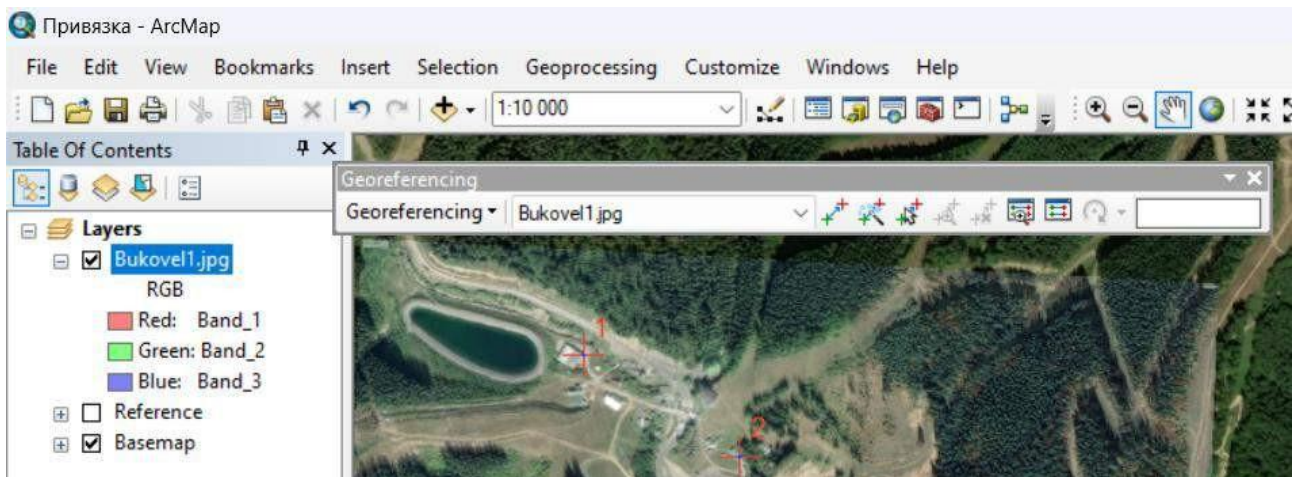
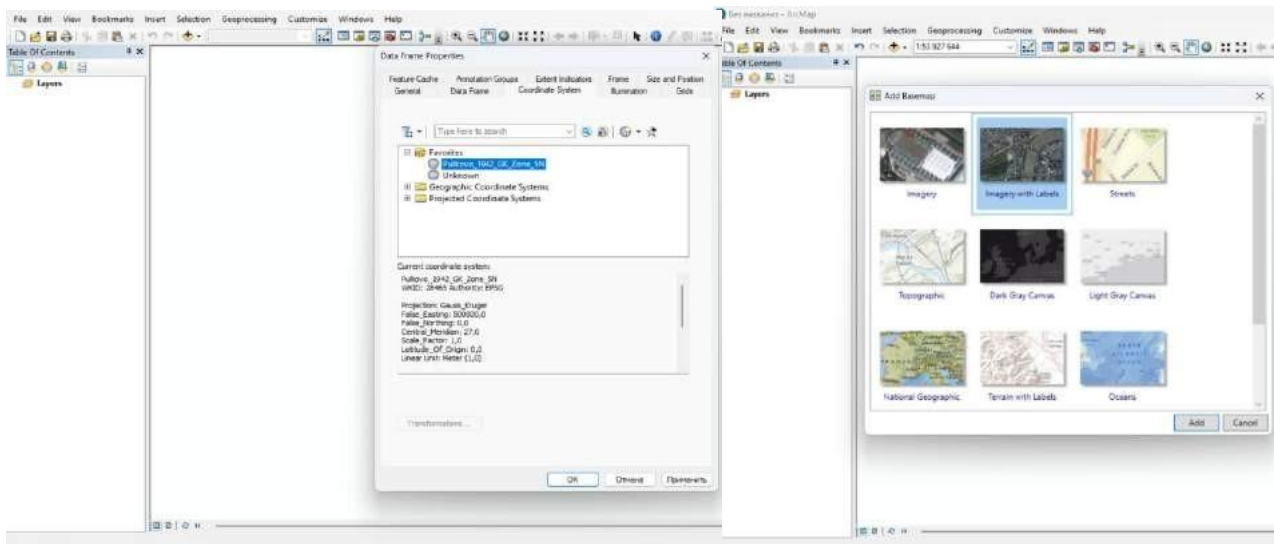


Рисунок 3.2 – Прив'язка знімків у геоінформаційному ПЗ ArcMap 10.8

3.2 Створення геоінформаційної системи прогнозування селів

3.2.1 Побудова цифрової карти курорту Буковель в середовищі ArcGIS

У програмному забезпеченні ArcMap 10.8 створено новий проєкт. Обрано проєкційну систему координат Pulkovo_1942_GK_Zone_5N (рис. 4.3а). Для простішої навігації додано базові шари з космічними знімками та об'єктами (рис. 4.3б).



а

б

Рисунок 3.3 – Створення робочого проєкту у ArcMap 10.8:

а – встановлення системи координат, б – додавання базових шарів

Для зменшення часу на обробку даних створено шейп-шар зони інтересу (позначений жовтим) (рис 3.4). У подальшому він використовується для обрізки вхідних даних.

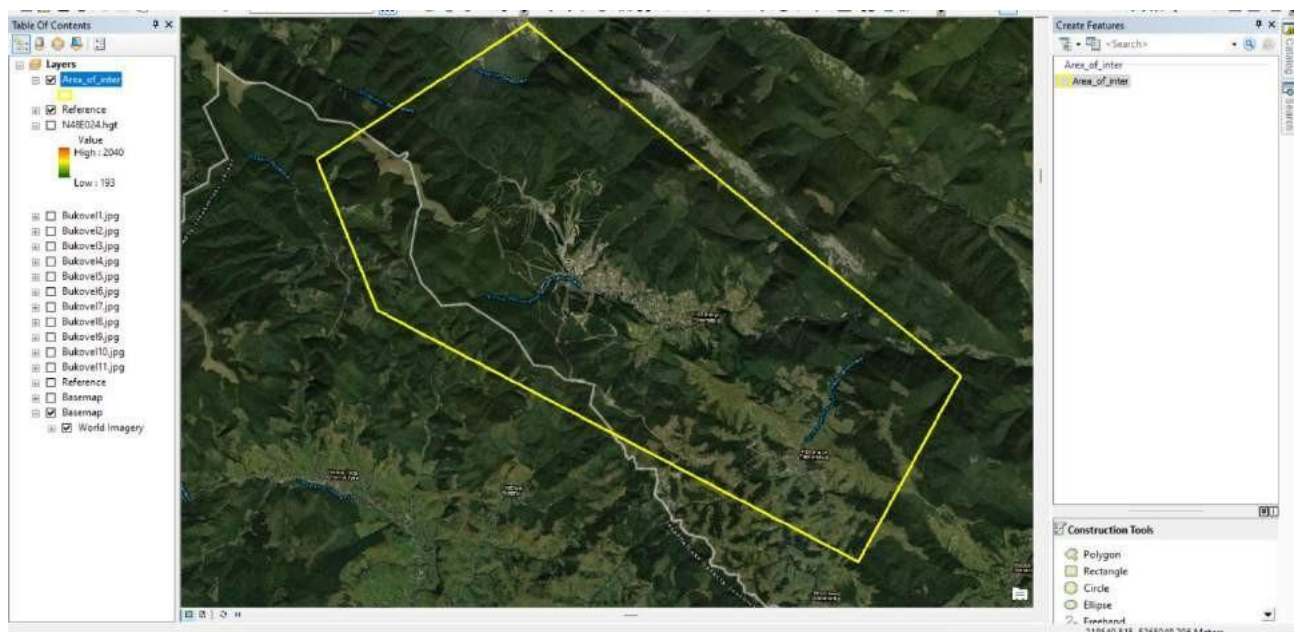


Рисунок 3.4 – Шейп-шар зони інтересу для подальшої обрізки

Завантажуємо ЦММ у форматі *.hgt у ArcMap (рис. 3.5). Для покращення візуалізації змінено кольорову гаму.

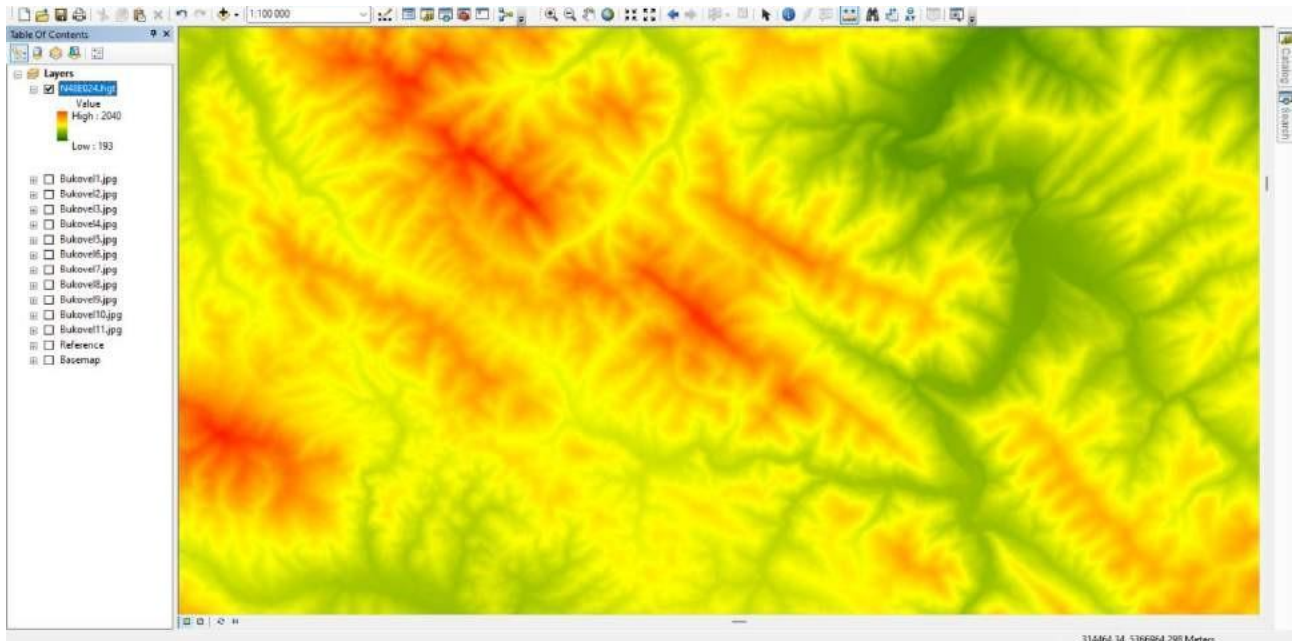


Рисунок 3.5 – Завантаження цифрової моделі рельєфу у ArcMap 10.8

З метою зменшення об'єму проєкту проведено обрізку растру з ЦММ за допомогою інструменту «Clip». У якості вхідних даних для обрізки використовується растровий шар DEM та контури обрізання – «Area_of_itner.shp» (рис. 3.6)

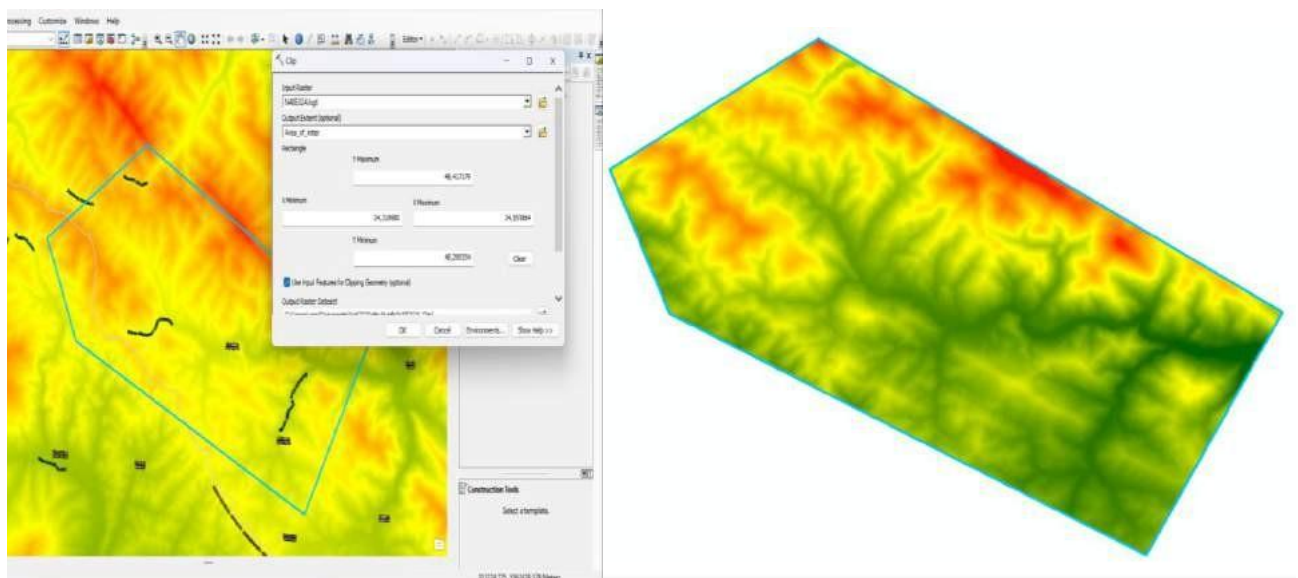


Рисунок 3.6 – Обрізання ЦММ за зоною інтересу

Для створення цифрової карти місцевості потрібно додати наступні тематичні шари:

- адміністративні межі;
- водні об'єкти;
- дороги;
- туристичні об'єкти;
- будівлі.

Усі об'єкти завантажено з сайту Humanitarian Data Exchange [24] у форматі шейп. Вони представлені двома типами шарів: лінійними та полігональними. Їх зведена характеристика наведена у таблиці 3.1

Таблиця 3.1 – Зведені дані за векторними тематичними шарами проєкту

Тип об'єкту	Назва файлу (архіву)	Тип файлу	Загальна кількість об'єктів у шарі	Кількість об'єктів у зоні інтересу
Адміністративні межі	районів – ukr_admbnda_adm3_sspe_202302	shape (shp)	1 769	4
	населених пунктів – hotosm_ukr_populated_places_polygons_shp	shape (shp)	19 402	2
Водні об'єкти	hotosm_ukr_waterways_lines_shp	shape (shp)	249 604	214
	hotosm_ukr_waterways_polygons_shp	shape (shp)	190 640	11
Дороги	hotosm_ukr_roads_lines_shp	shape (shp)	2 294 432	1176
Будівлі	hotosm_ukr_buildings_polygons_shp	shape (shp)	6 018 387	1112
Туристичні об'єкти	hotosm_ukr_points_of_interest_points_shp	shape (shp)	300 001	356
	hotosm_ukr_points_of_interest_polygons_shp	shape (shp)	155 896	236

Візуалізація цих шарів наведена на рис 3.7. Червоним полігоном показана ділянка дослідження (зона інтересу).

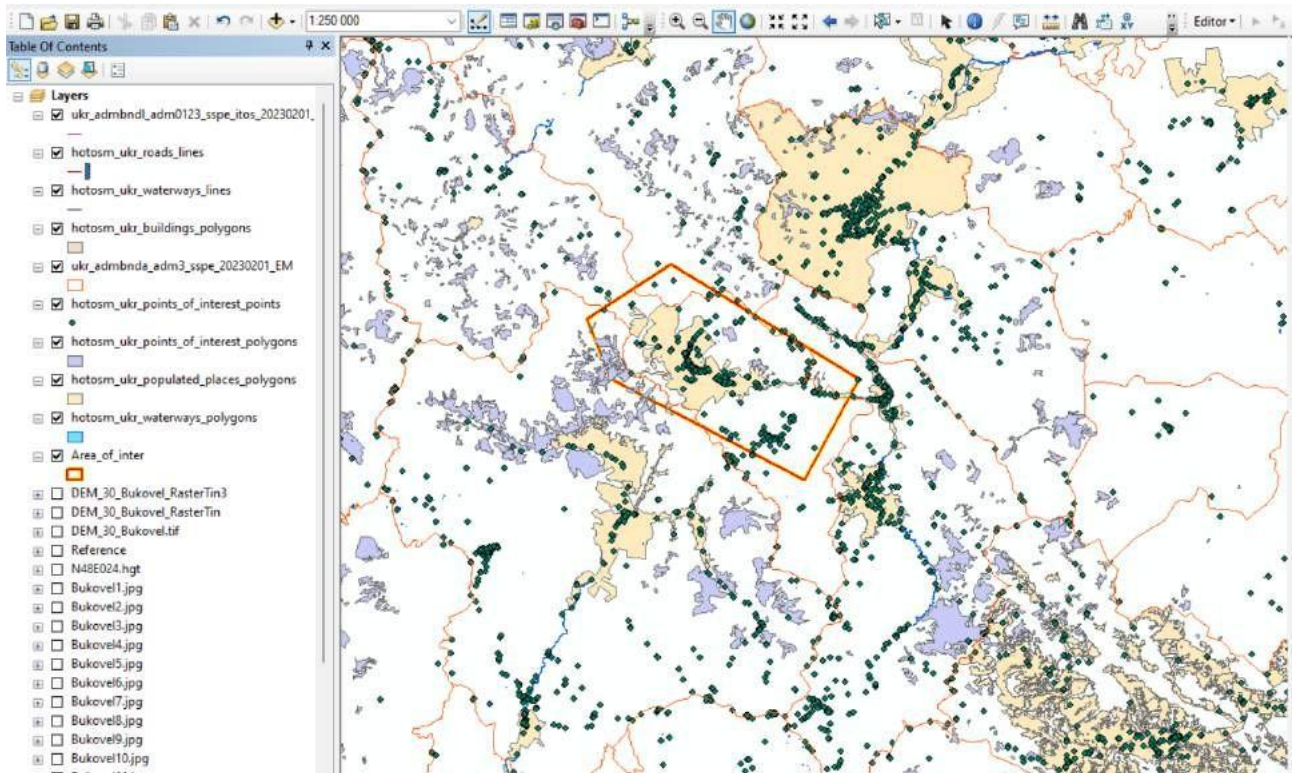


Рисунок 3.7 – Візуалізація тематичних шарів (табл. 3.1) у програмному забезпеченні ArcMap 10.8

У дослідженні проєкт створено у проєкційній системі координат Pulkovo_1942_GK_Zone_5N. Деякі шари мають іншу систему координат (табл. 3.2). Для проведення геостатистичної обробки усі шари необхідно перепроціювати у єдину систему координат, а саме у Pulkovo_1942_GK_Zone_5N. Усі шари, що наведені у табл 3.2 переведені у вищезазначену систему за допомогою інструменту «Project».

Таблиця 3.2 – Системи координат шарів проєкту

Тип даних	Шари проєкту	Система координат
1	2	3
Векторні шари shp	<ol style="list-style-type: none"> 1. Tourism_rayon 2. Building_rayon 3. River_rayon 4. Water_rayon 5. Road_rayon 6. Tourism_polygon_rayon 7. Border_city 8. Border_rayon 	<p>Географічна система координат GCS_WGS_1984</p>
Растрові шари	<ol style="list-style-type: none"> 1. DEM_30_Bukovel.tif 	<p>Географічна система координат GCS_WGS_1984</p>
Авторські шари	<ol style="list-style-type: none"> 1. Area_of_inter.shp (полігональний) 2. Stvori.shp (лінійний) 3. Znimok.jpg (космічний знімок у растровому форматі) 	<p>Проекційна система координат: Pulkovo_1942_GK_Zone_5N</p>

Для зменшення розміру проєкту проведена обрізка векторних даних по межі зони інтересу за допомогою інструменту «Clip» (рис.3.8)

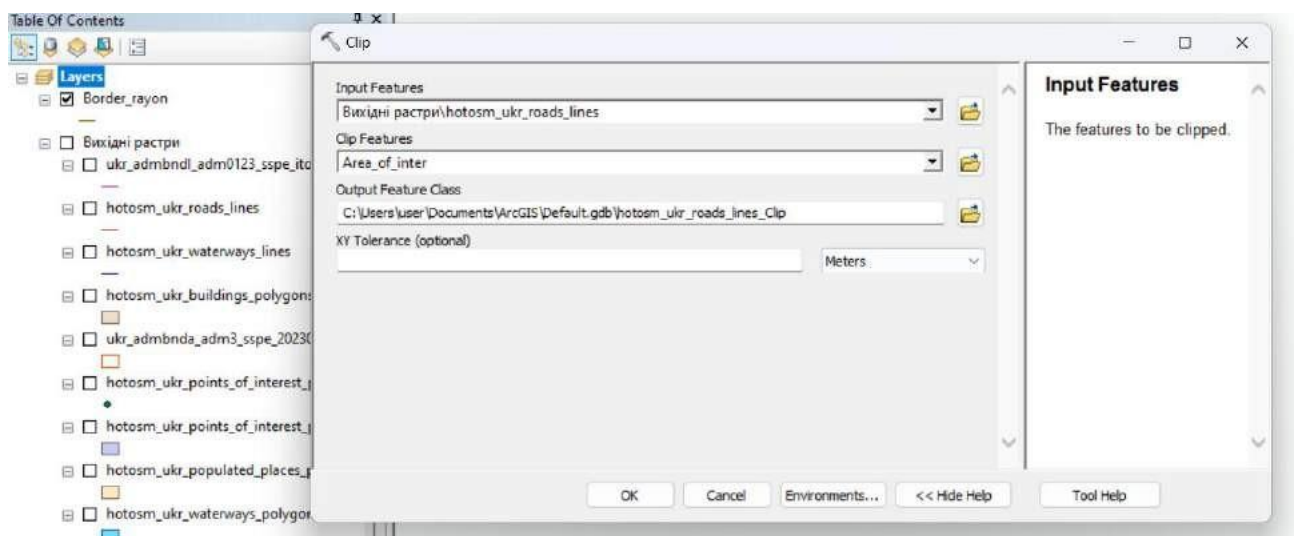


Рисунок 3.8 – Обрізка векторних шарів Big Data по межі зони інтересу

Результат обрізання векторних шарів наведений на рис 3.9.

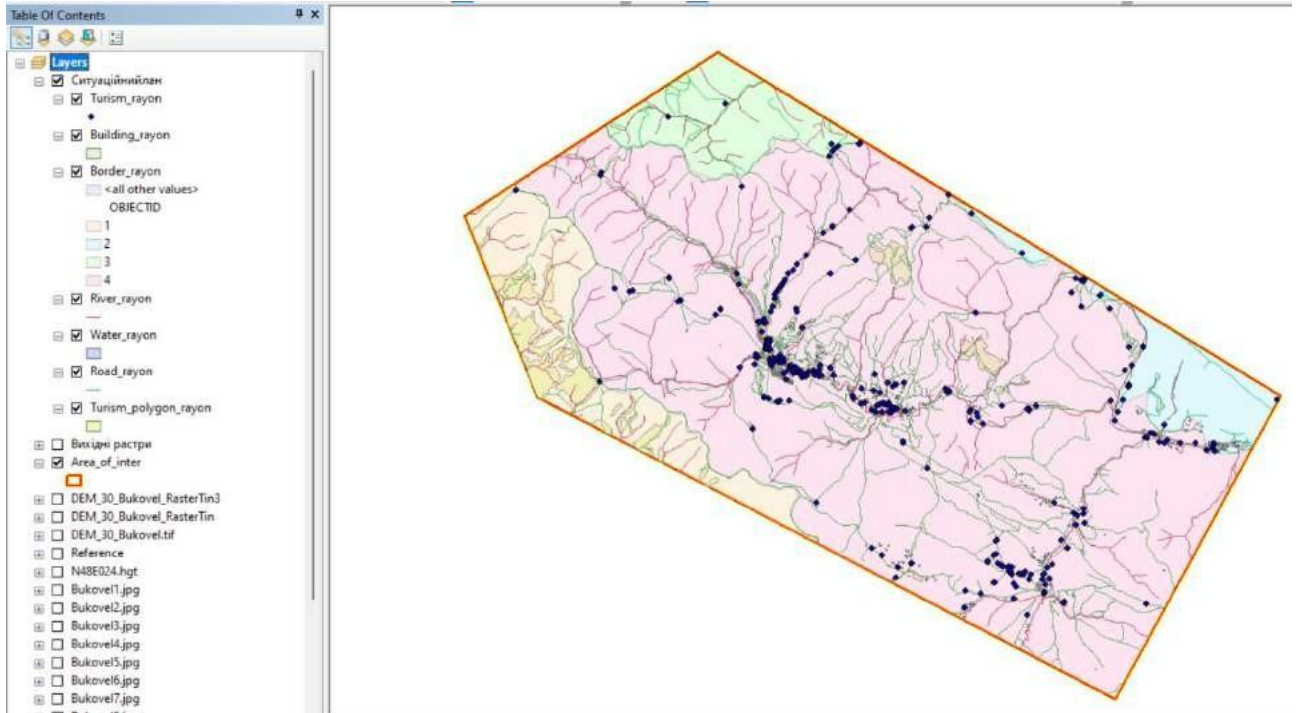


Рисунок 3.9 – Векторні шари зони інтересу

Для правильного відображення шарів проведено їх налаштування умовними позначеннями (рис. 3.10). У результаті отримана цифрова карта курорту Буковель (рис 3.11)

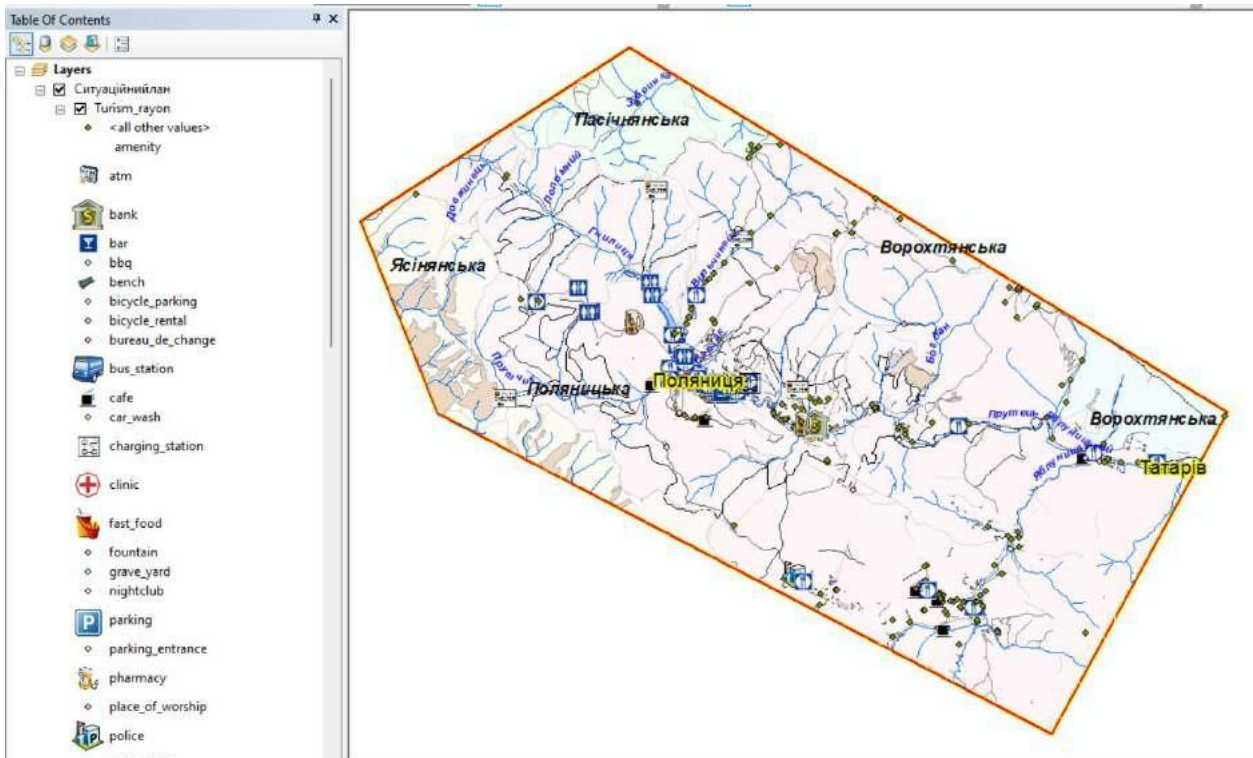
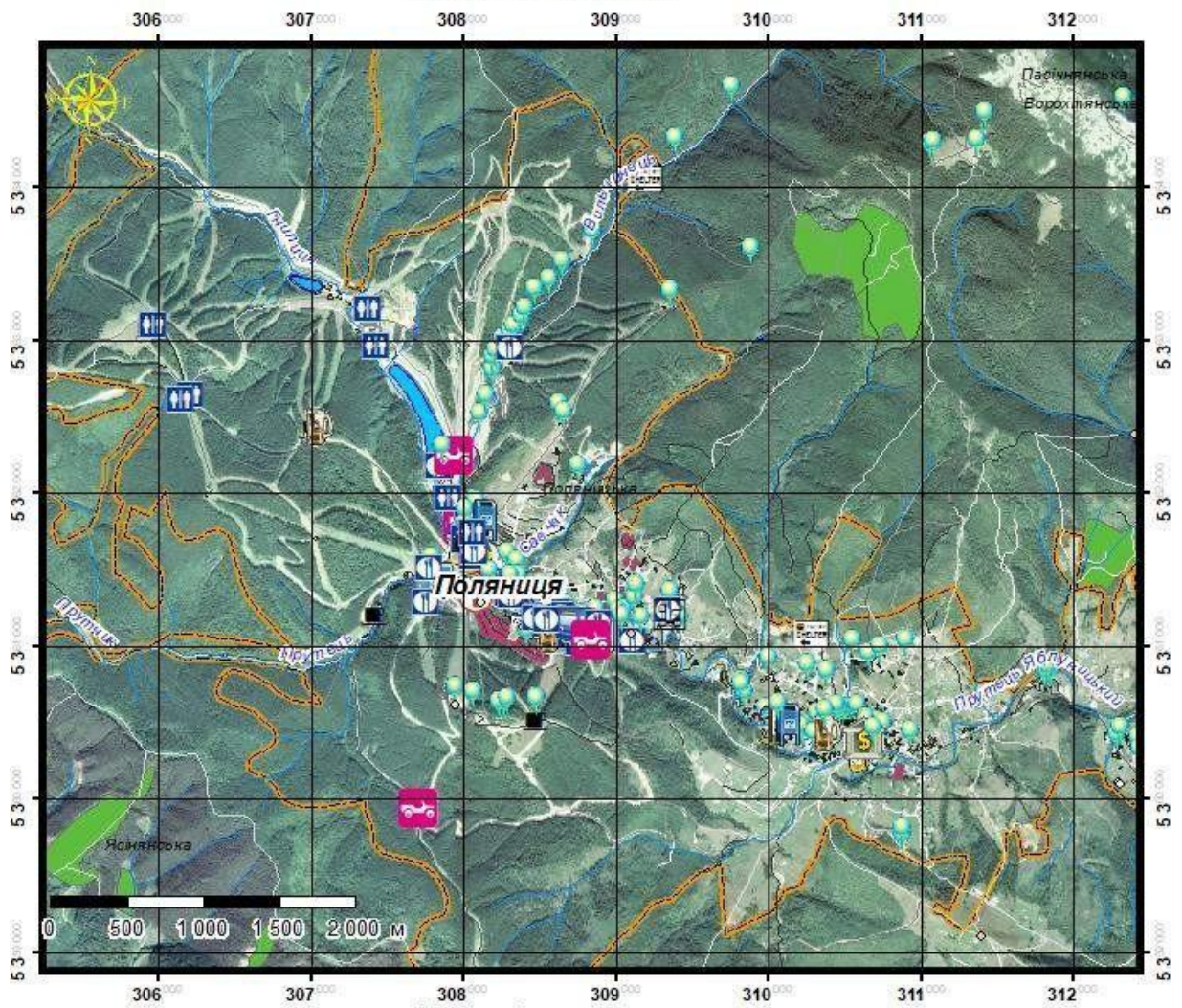


Рисунок 3.10 – Налаштовані векторні тематичні шари

Карта курорту Буковель

Масштаб 1 : 40 000



Умовні позначення:

межі нас. пункту;

будівлі;

Туристичні ділянки:

альпіністське
снарядження;

атракціони;

шале

гостьові дома;

хостел

готель

інфо;

зони пікніку

будинок лісника

Туристичні об'єкти

банкомати;

банки;

бари

автовокзал

кафе

зарядні станції
для електромобілей;

поліклініка;

фастфуди;

нічні клуби;

інші туристичні місця;

пошта;

паби;

ресторани;

приюти;

туалети;

паркінги;

в'їзд до паркінгу;

аптеки;

поліція;

Рисунок 3.11 – Цифрова карта курорту Буковель

3.2.2 Визначення вірогідних зон розповсюдження селевих потоків інструментами ГІС

У програмному забезпеченні ArcGIS існує можливість реалізації заданої мети дослідження за допомогою інструменту «Difference Surface». Для цього потрібно дотримуватися схеми наведених на рис. 3.12

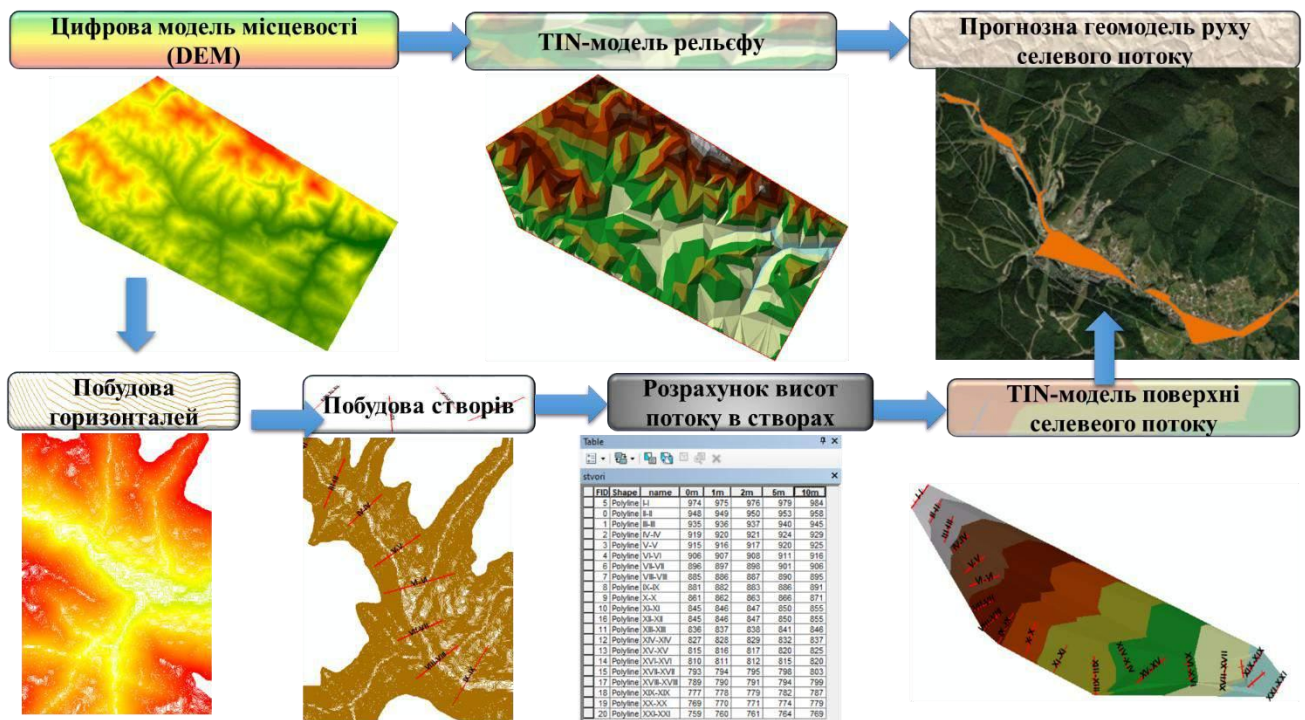


Рисунок 3.12 – Схема побудови геомоделі руху селевого потоку

На початковому етапі необхідно із ЦММ отримати ТІН-модель рельєфу за рахунок використання інструменту «Raster to TIN» (рис. 3.13) та побудувати горизонталі за допомогою інструменту «Contour» (рис. 3.14).

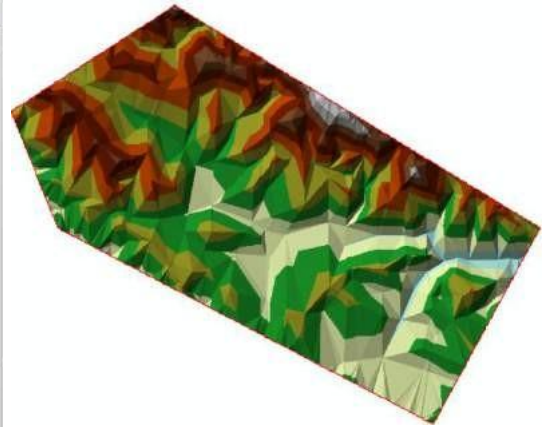
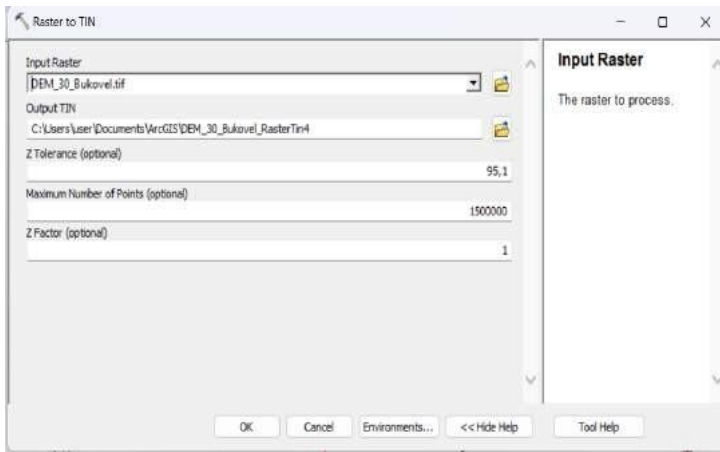


Рисунок 3.13 – Створення TIN-модель рельєфу за допомогою інструменту «Raster to TIN»

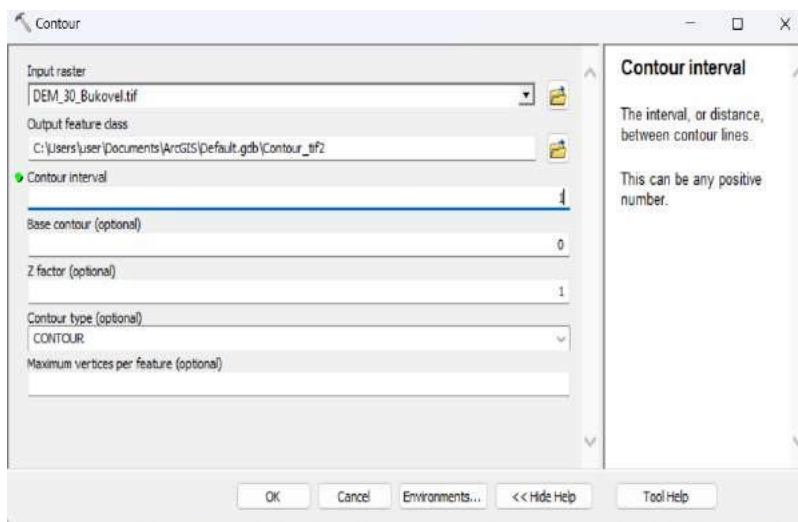


Рисунок 3.14 – Побудова горизонталей за допомогою інструменту «Contour»

На наступному етапі побудований лінійний шейп-шар із 21 створу через 400-1000 м поперек долини р. Прутець-Яблунецький (рис. 3.14). Створена атрибутивна таблиця з наступними елементами: номер створу (name), абсолютні висоти по тальвегу (0m) та при різних висотах селевого потоку, а саме: 1 м (1 m), 2 м (2 m), 5 м (5 m) і 10 м (10 m). Під час режиму редагування визначені висоти тальвегу по ЦММ (DEM) й занесені в атрибутивну таблицю (рис. 3.15).

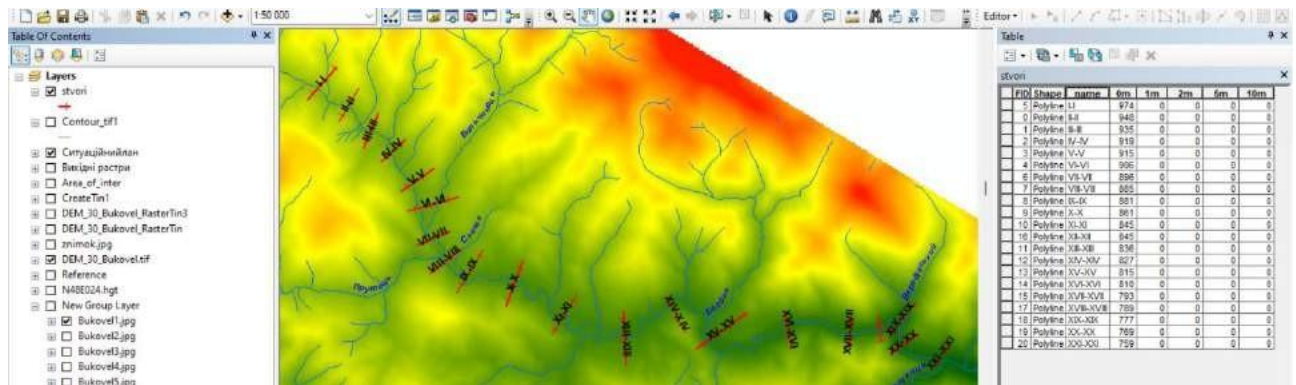


Рисунок 3.15 – Шейп-шар зі створами та атрибутивна інформація шару

На наступному кроці необхідно побудувати TIN-моделі поверхні селевих потоків при різних висотах. Для цього використана функція «Field Calculator», яка дозволила автоматично розрахувати абсолютні висоти селевого потоку у кожному створі. Розраховані дані наведені на рис. 3.16.

FID	Shape	name	0m	1m	2m	5m	10m
5	Polyline	I-I	975	976	977	980	980
0	Polyline	II-II	955	956	957	960	960
1	Polyline	III-III	935	936	937	940	940
2	Polyline	IV-IV	922	923	924	927	927
8	Polyline	IX-IX	881	882	883	886	886
3	Polyline	V-V	917	918	919	922	922
4	Polyline	VI-VI	906	907	908	911	911
6	Polyline	VII-VII	897	898	899	902	902
7	Polyline	VIII-VIII	885	886	887	890	890
9	Polyline	X-X	883	884	885	888	888
10	Polyline	XI-XI	847	848	849	852	852
20	Polyline	XII-XII	843	844	845	848	848
11	Polyline	XIII-XIII	836	837	838	841	841
12	Polyline	XIV-XIV	833	834	835	838	838
17	Polyline	XIX-XIX	777	778	779	782	782
13	Polyline	XV-XV	815	816	817	820	820
14	Polyline	XVI-XVI	806	807	808	811	811
15	Polyline	XVII-XVII	793	794	795	798	798
16	Polyline	XVIII-XVIII	798	799	800	803	803
18	Polyline	XX-XX	772	773	774	777	777
19	Polyline	XXI-XXI	763	764	765	768	768

Рисунок 3.16 – Атрибутивна таблиця шейп-шару зі створами із заповненими абсолютними відмітками тальвегу та поверхні селевого потоку при різних його висотах

За допомогою інструменту «Create TIN» побудовані TIN-моделі поверхні селевого потоку при різних висотах. Результат наведений на рис 3.17.

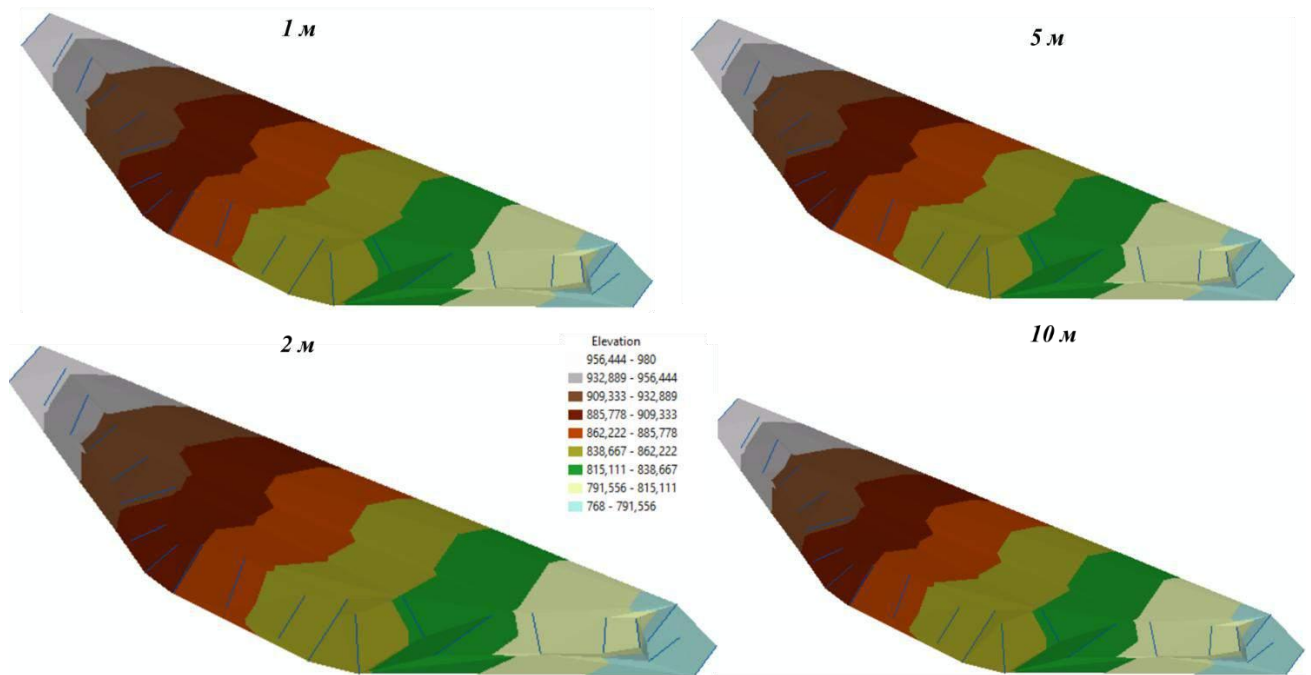


Рисунок 3. 17 - TIN-моделі поверхні селевого потоку при різних його висотах

На останньому етапі побудовані геомоделі зони розповсюдження селевих потоків. Цей процес геобробки виконаний за допомогою інструменту «Surface Difference» (рис. 3.18)

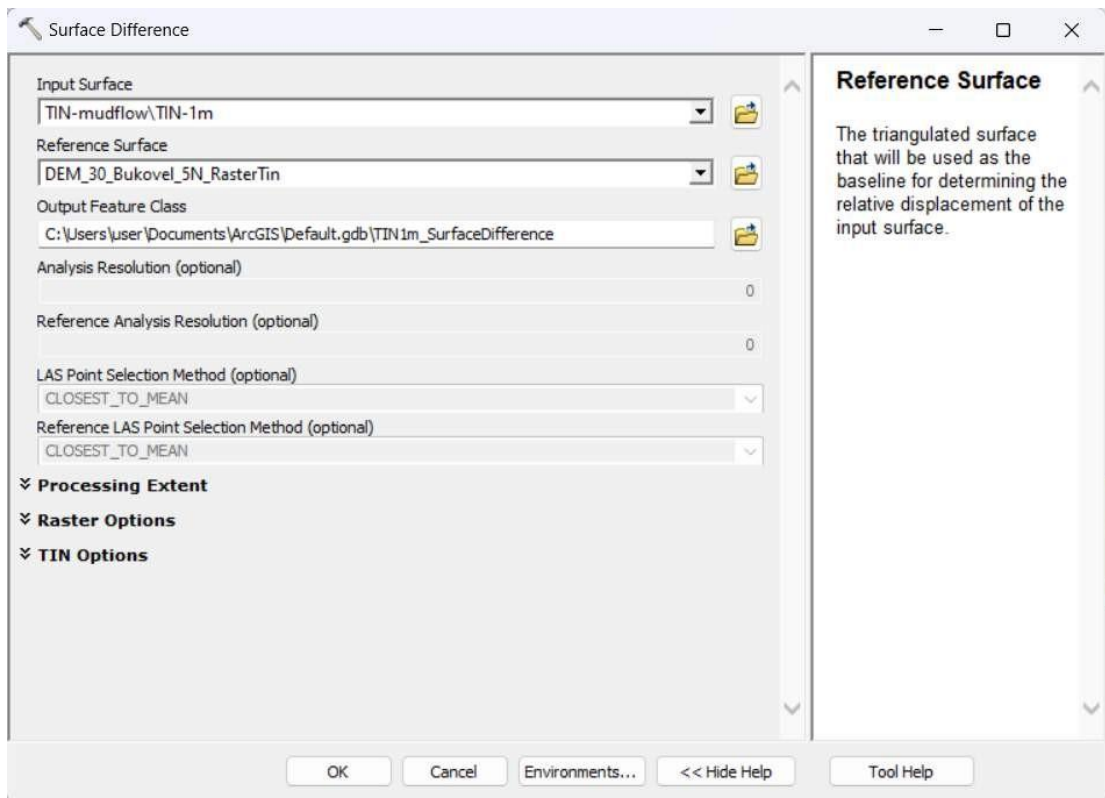


Рисунок 3.18 - Інструмент «Surface Difference»

У результаті отримані векторні шари траєкторії руху селевих потоків у досліджуваній зоні (рис. 3.19).

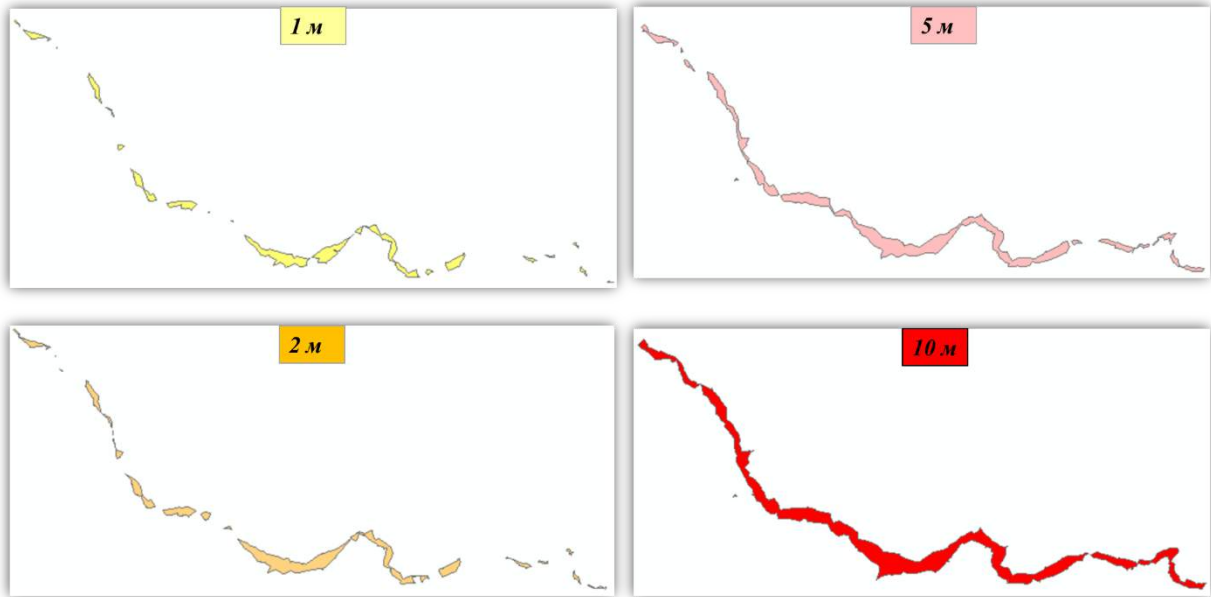


Рисунок 3.19 – Зони ймовірного розповсюдження селевих потоків

3.3 Тривимірна візуалізація ймовірних селевих потоків у ArcScene

Для покращення візуалізації постраждалих регіонів від селів побудована 3Д модель району досліджень за допомогою додатка ArcScene. Базовим шаром для побудови 3Д моделі є шар ЦММ (DEM). На його основі побудована тривимірна модель с. Поляниця та його околиць з накладеним космічним знімком.

Побудована 3Д модель наведена на рис 3.20.

До цього проєкту завантажені шари з зонами ймовірного розповсюдження селевих потоків. У результаті отримано чотири тривимірних моделі розповсюдження селевого потоку. Слід зазначити, що за рахунок невисокої роздільної здатності ЦММ (30 м) та гірського рельєфу спостерігаються похибки пов'язані з не суцільністю потоку. Отримані геомоделі показані на рис 3.21.



Рисунок 3.20 – 3Д-модель с. Поляниця та його околиць

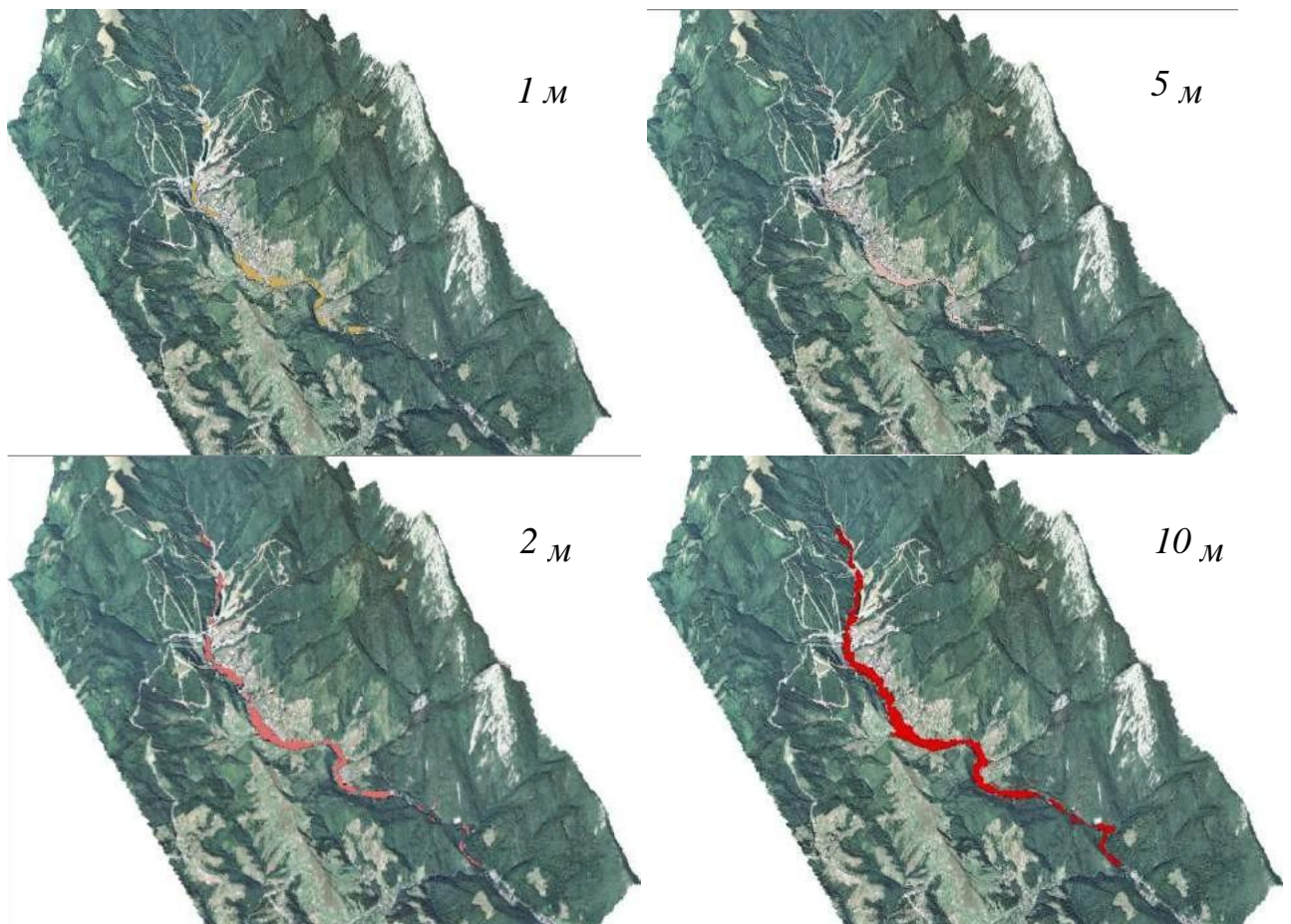


Рисунок 3.21 – 3Д-моделі розповсюдження селевого потоку

3.4 Прогнозування негативних наслідків селевих потоків з використанням ГІС технологій

Негативні наслідки від ймовірного селевого потоку для с. Поляниця й курорту Буковель проведені у додатку ArcMap. У якості основи використані шари ситуаційного плану. На першому етапі визначені усі об'єкти, що знаходяться у с. Поляниця. Для цього використана функція «Select By Location» (рис. 3.22), яка дозволяє виділити (блакитним) зазначені об'єкти (туристичні, будівлі, дороги) по заданому контуру – межа с. Поляниця.

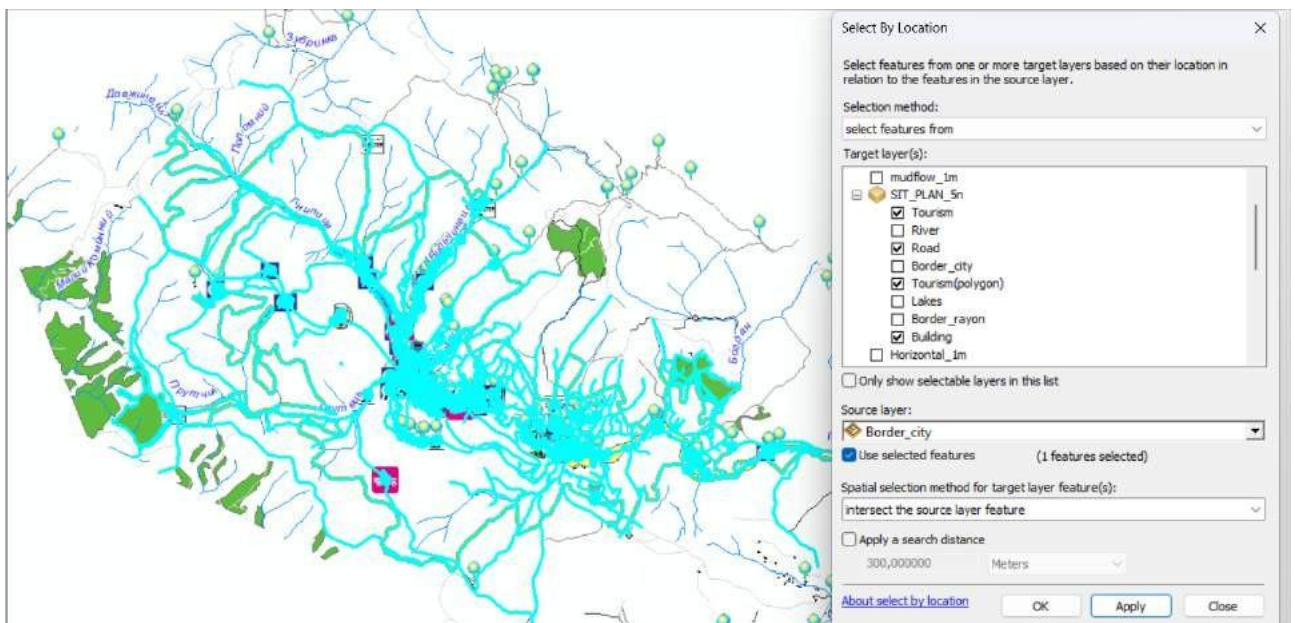


Рисунок 3.22– Виділення усіх об'єктів у с. Поляниця по її межі

За результатами операції «Select By Location» визначено, що у межах населеного пункту Поляниця знаходиться:

- 636 будівель (полігональний шар);
- 222 туристичних об'єкта (точковий шар);
- 192 туристичних об'єкта (полігональний шар шар);
- 703 доріг й стежок різних типів.

На наступному етапі побудовані карти розповсюдження селевих потоків при їх різній висоті. За допомогою того ж інструмента створені шари з об'єктами, що потрапляють в зону руху селевого потоку й можуть потенційно бути зруйнованими.

В результаті моделювання визначені прогнозні негативні наслідки об'єкти, що потрапляють у зону руху селевого потоку. Вони наведені у таблиці 3.3

Таблиця 3.3 – Об'єкти, що знаходяться в зоні руху селевого потоку

Висота селевого потоку	Площа, га	Будівлі		Туристичні об'єкти		Доріг та стежок	
		кільк.	площа, м ²	точкові	полігональні	кількість	довжина, м
Загальна	2519,4	636	157 266	222	192	703	143 257
1 м	51	112	24 260	24	36	169	8425
2 м	66,7	140	35 790	35	41	198	11 681
5 м	111,8	221	42 399	70	61	291	20 351
10 м	173,6	318	68 403	117	83	347	30 841

Моделювання наслідків селевого потоку у с. Поляниця показало, що потік буде рухатись вздовж р. Прутець-Яблунецький. Негативні наслідки спостерігатимуться для об'єктів, що знаходяться біля цієї річки.

Так, в зону ураження потрапляють при висоті селевого потоку:

□ 1 м – 15 житлових будинків, 8 готелів, 1 автостанція, 16 туристичних об'єктів та 8,5 км доріг;

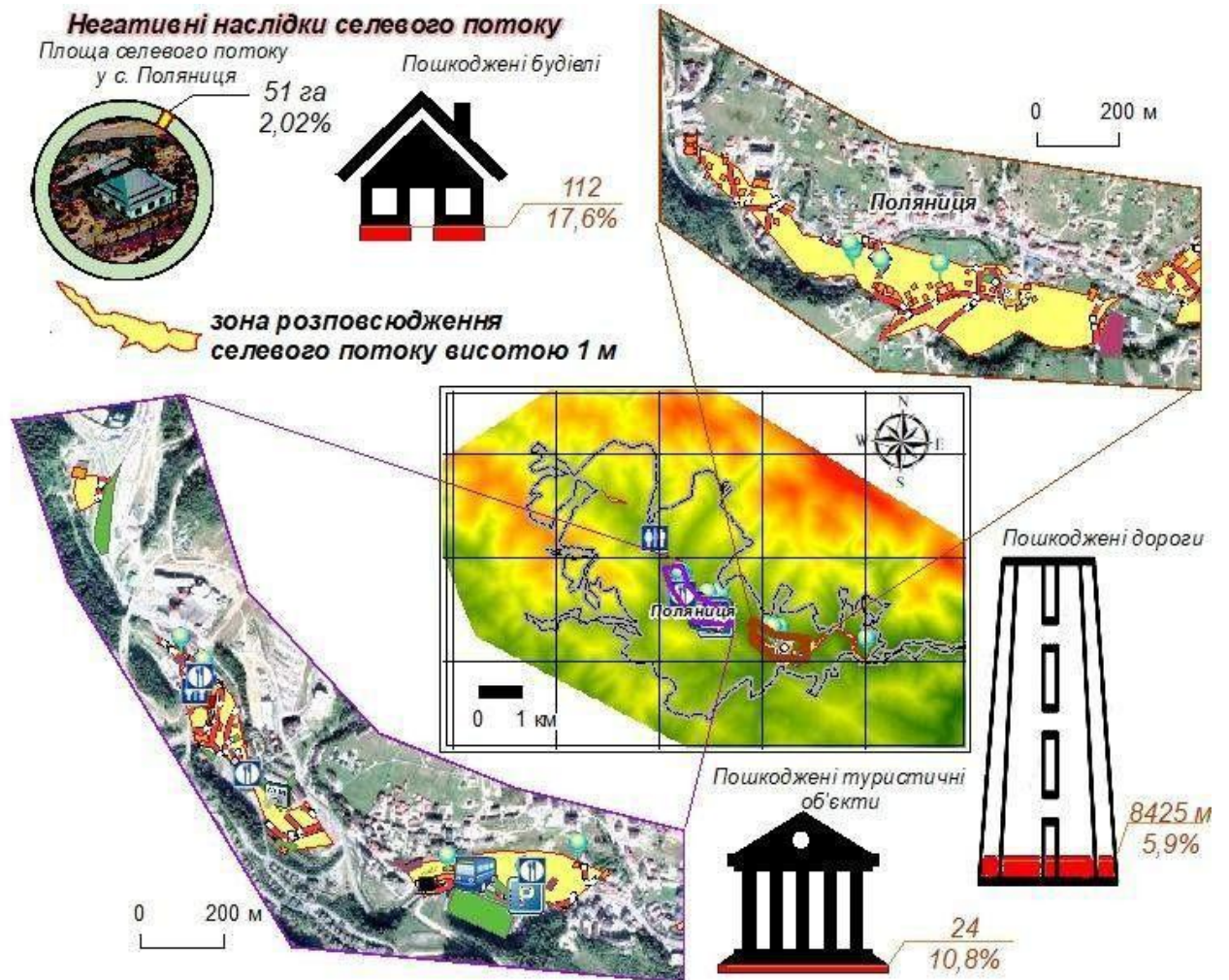
□ 2 м – 34 житлових будинків, 13 готелів, 4 ресторанів, 1 поштове відділення, 1 автостанція, 16 туристичних об'єктів та 11,7 км доріг;

□ 5 м – 54 житлових будинків, 20 готелів, 8 ресторанів, 1 поштове відділення, 1 автостанція, 40 туристичних об'єктів та 20,6 км доріг;

□ 10 м – 79 житлових будинків, 29 готелів, 15 ресторанів, 1 поштове відділення, 1 автостанція, 71 туристичних об'єктів та 30,8 км доріг.

Ці прогнозні карти наведені на рис 3.23-3.26.

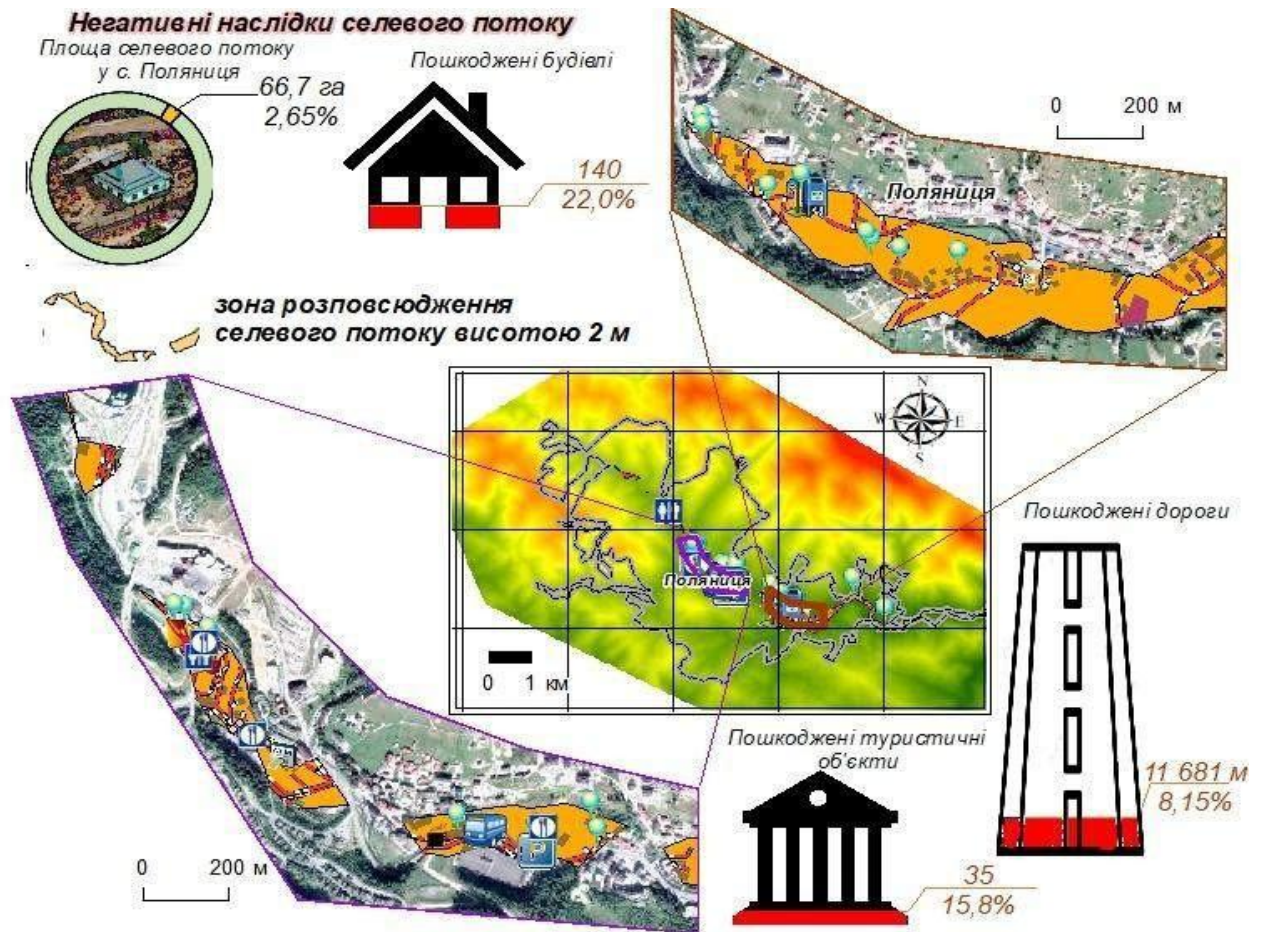
Отже, використання геоінформаційних технологій з даними дистанційного зондування Землі дозволяє ефективно прогнозувати негативні наслідки сходження селевих потоків з можливістю їх якісної візуалізації та кількісної оцінки.



Умовні позначення:

- | | | |
|----------------------------|-------------------------------------|--------------------|
| межі нас. пункту; | Туристичні об'єкти | |
| будівлі; | банкомат и; | пошта; |
| Туристичні ділянки: | банки; | паби; |
| альпіністське снаряження; | бари; | ресторани; |
| атракціони; | автовокзал; | привіти; |
| шале; | кафе; | туалети; |
| гостьові дома; | зарядні станції для електромобілей; | паркінги; |
| хостел; | поліклініка; | в'їзд до паркінгу; |
| готель; | фастфуди; | аптеки; |
| інфо; | нічні клуби; | поліція; |
| зони пікніку; | інші туристичні місця; | |
| будинок лісника; | | |

Рисунок 3.23 – Прогнозна карта негативних наслідків селевих потоків висотою 1 м у с. Поляниця



Умовні позначення:

межі нас. пункту;

будівлі;

Туристичні ділянки:

альпіністське спорядження;

атракціони;

шале

гостьові дома;

хостел

готель

інфо;

зони пікніку

будинок лісника

Туристичні об'єкти

банкомати;

банки;

бари

автовокзал

кафе

зарядні станції для електромобілей;

поліклініка;

фастфуди;

нічні клуби;

інші туристичні місця;

пошта;

паби;

ресторани;

приюти;

туалети;

паркінги;

в'їзд до паркінгу;

аптеки;

поліція;

Рисунок 3.24 – Прогнозна карта негативних наслідків селевих потоків висотою 2 м у с. Поляниця

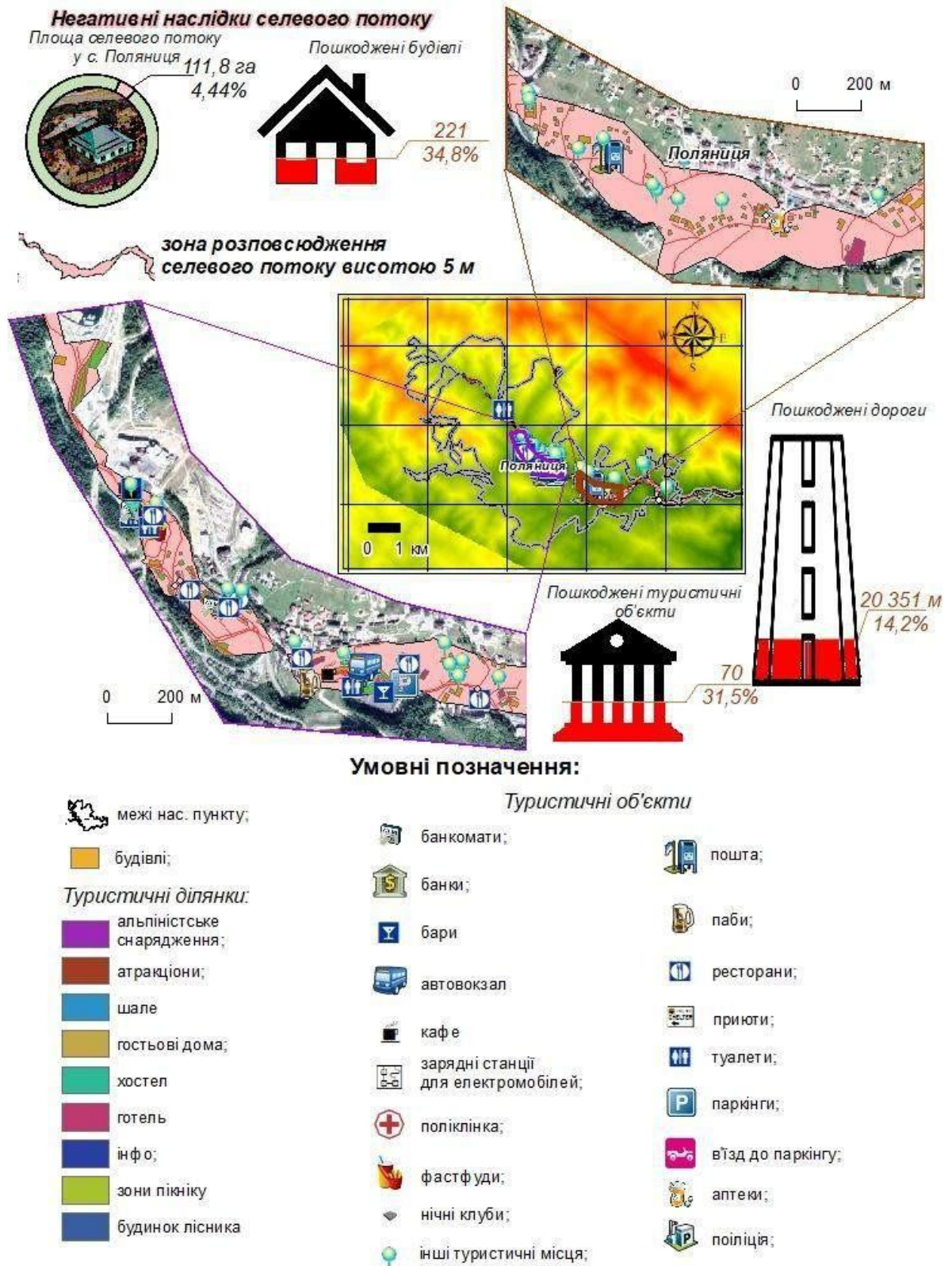
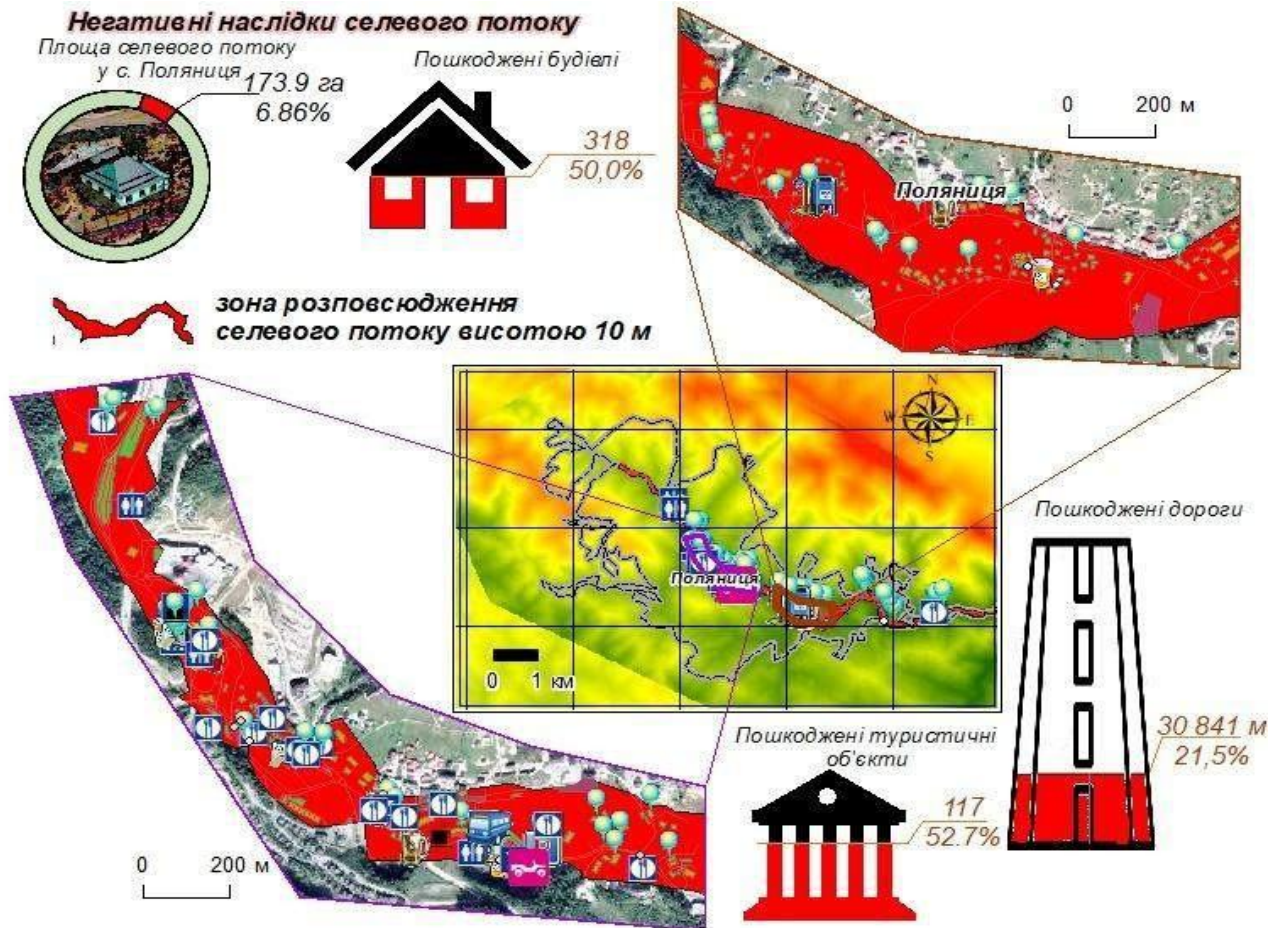


Рисунок 3.25 – Прогнозна карта негативних наслідків селевих потоків висотою 5 м у с. Поляниця



Умовні позначення:

- межі нас. пункту;
- будівлі;
- Туристичні ділянки:**
 - альпіністське спорядження;
 - атракціони;
 - шале
 - гостьові дома;
 - хостел
 - готель
 - інфо;
 - зони пікніку
 - будинок лісника

Туристичні об'єкти

- банкомати;
- банки;
- бари
- автовокзал
- кафе
- зарядні станції для електромобілей;
- поліклініка;
- фастфуди;
- нічні клуби;
- інші туристичні місця;
- пошта;
- паби;
- ресторани;
- приюти;
- туалети;
- паркінги;
- в'їзд до паркінгу;
- аптеки;
- поліція;

Рисунок 3.26 – Прогнозна карта негативних наслідків селевих потоків висотою 5 м у с. Поляниця

РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ В ГАЛУЗІ

Охорона праці під час виконання робіт, пов'язаних із геоінформаційним аналізом і прогнозуванням селевої небезпеки, передбачає систему правових, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних і профілактичних заходів, спрямованих на збереження життя, здоров'я та працездатності фахівців.

Особливістю таких робіт є поєднання камеральних досліджень (робота з ГІС, базами даних, картографічними матеріалами) та польових обстежень територій, потенційно небезпечних щодо розвитку селевих процесів. Тому вимоги охорони праці повинні враховувати як офісні, так і природно-техногенні ризики.

Геоінформаційний аналіз виконується із застосуванням персональних комп'ютерів, спеціалізованого програмного забезпечення та периферійного обладнання. Основними небезпечними та шкідливими виробничими факторами є:

- підвищене зорове навантаження;
- статичне навантаження на опорно-руховий апарат;
- електромагнітне випромінювання;
- можливість ураження електричним струмом;
- психоемоційне перевантаження.

Для забезпечення безпечних умов праці необхідно:

- організувати ергономічне робоче місце (регульоване крісло, правильне розташування монітора на відстані 50–70 см від очей);
- забезпечити нормативні параметри мікроклімату (температура 18–22 °С, відносна вологість 40–60 %);
- дотримуватись режиму праці та відпочинку (перерва 10–15 хв через кожні 1,5–2 години роботи);
- використовувати справне електрообладнання із заземленням;

- підтримувати достатній рівень природного та штучного освітлення.

Польові роботи в районах поширення селевих процесів характеризуються підвищеною небезпекою, зокрема:

- можливість раптового сходження селевих потоків;
- обвали та зсуви схилів;
- складні метеорологічні умови;
- травмування під час пересування гірською або пересіченою місцевістю;
- укуси комах та диких тварин.

З метою мінімізації ризиків необхідно:

- проводити інструктаж з техніки безпеки перед виїздом у поле;
- здійснювати моніторинг погодних умов і гідрологічної ситуації;
- використовувати засоби індивідуального захисту (каски, міцне взуття, сигнальні жилети);
- працювати у складі групи не менше двох осіб;
- мати засоби зв'язку, навігації та аптечку першої допомоги;
- уникати перебування в руслах тимчасових водотоків під час інтенсивних опадів.

Під час камеральних робіт необхідно дотримуватись правил пожежної безпеки:

- не перевантажувати електромережу;
- використовувати сертифіковані подовжувачі та джерела безперебійного живлення;
- забезпечити наявність вогнегасників у приміщенні;
- знати шляхи евакуації та порядок дій у разі виникнення пожежі.

У польових умовах слід дотримуватись правил поводження з відкритим вогнем та паливно-мастильними матеріалами.

Дотримання вимог охорони праці під час виконання геоінформаційного аналізу і прогнозування селевої небезпеки є важливою умовою ефективності досліджень та запобігання виробничому травматизму. Комплексний підхід до організації безпечних умов праці, що поєднує ергономіку робочого місця, підготовку до польових робіт та контроль ризиків природного середовища, забезпечує збереження здоров'я фахівців і якість отриманих результатів.

ВИСНОВКИ

Аналіз можливостей прогнозування виникнення селевих потоків з оцінкою їх наслідків показав, що існує безліч різноманітних методик, але найбільш ефективні ті, які використовують геоінформаційні технології у поєднанні з даними дистанційного зондування.

Для розробленої методики у якості вхідних даних потрібні геодані, що знаходяться у вільному доступі, а саме цифрова модель рельєфу, космічні знімки та векторні шари OpenStreetMap. Цей аспект підвищує ефективність розробленої методики за рахунок зменшення матеріальних і часових витрат.

Розроблена методика прогнозування розповсюдження селевого потоку дозволила визначити потенційно небезпечні ділянки руйнувань за рахунок комплексного використання статистичних й дистанційних даних на основі геоінформаційних технологій, а побудова 3Д моделей дозволила прогнозувати негативні наслідки від руху селевого потоку при різних висотах.

Практична реалізація розробленої методики на прикладі курорту Буковель с. Поляниця (Івано-Франківська обл.) показала, що внаслідок сходження селевого потоку висотою 10 м буде затоплено усього 6,86% площі населеного пункту, але це призведе до руйнації 50 % будинків, 52,7% туристичних об'єктів, 21,5% доріг. Такі значні руйнації обумовлені геоморфологічними особливостями району дослідження.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Костюченко М.М., Шабатин В.С. Гідрогеологія та інженерна геологія: Підручник. К.: Видавничо- поліграфічний центр "Київський університет", 2005. 144 с.
2. Суярко В. Г. та ін. Інженерна геологія (з основами геотехніки): підручник для студентів вищих навчальних закладів / за заг. ред. проф. В. Г. Суярка. Х. : Вид-во ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2019. 278 с.
3. Зоценко М. Л., Коваленко В. І., Яковлев А. В., Петраков О. О., Швець В. Б., Школа О. В., Біда С. В., Винников Ю. Л. Інженерна геологія. Механіка ґрунтів, основи і фундаменти: Підручник . Полтава: ПНТУ. 2003. 446 с.
4. El-Sabh, M.I. World conference on natural disaster reduction. Nat Hazards. 1994. 49, 333–352. <https://doi.org/10.1007/BF00690745>
5. Сокурєнко В. В., Бандурка О. М., С. М. Бортник. Безпека життєдіяльності та охорона праці : підручник / за заг. ред. В. В. Сокурєнка ; Харків. нац. ун-т внутр. справ. Харків : ХНУВС, 2021. 308 с.
6. Куковський А. Г., Кизима В. П., І. І. Алексієвець, П. П. Семчук Виконання робіт по будівництву селезахисних споруд / // Вісник Національного університету водного господарства та природокористування. Сер. : Технічні науки. 2016. Вип. 1. С. 19-33. Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vnuvgrp_tekhn_2016_1_5.
7. Шудренко І. В. Цивільний захист : навч. посіб. Житомир. Житомирський національний агроекологічний університет. 2014. 248 с.
8. Про затвердження Методики оцінки збитків від наслідків надзвичайних ситуацій техногенного і природного характеру: Постанова КМУ від 15 лютого 2002 р. N 175. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/175-2002-%D0%BF#Text>

9. Кузьменко Е. Д., Чепурна Т. Б. Прогнозування селевих процесів : монографія. Івано-Франківськ. ІФНТУНГ. 2014. 254 с.
10. Кузьменко Е. Д., Чепурна Т. Б. Прогнозування селів в Українських Карпатах. Геодинаміка. 2014. № 1. С. 129-143. Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/geod_2014_1_14
11. Замай В.І. Дослідження прогностного фону паводкової і селевої небезпеки на основі даних моніторингу надзвичайної події. Проблеми автоматизації і управління. Бішкек. Ілім. 2008. С. 97-103.
12. Сусідко М.М., Лук'янець О.І. Методичні засади ймовірного прогнозування сельових явищ в Українських Карпатах. Наук. пр. УкрНДГМІ. 1999. Вип. 247. С. 114-124.
13. Климчук Л.М., Красноок Л.М., Кузьменко Е.Д. Узагальнення матеріалів моніторингу екзогенних геологічних процесів по території України з використанням ГІС-технологій.: звіт про науково-дослідну роботу К.: ДНВП “Геоінформ України”/ 2009. 262 с.
14. Чепурна Т.Б. Регіональний просторово-часовий прогноз селевої небезпеки із застосуванням геоінформаційних технологій: дис. канд. геол. наук: 04.00.05. Чепурна Тетяна Богданівна. Київський національний університет імені Тараса Шевченка. К./ 2011. 174 с.
15. How Surface Difference works–ArcMap | Documentation.
URL:
<https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/latest/tools/3d-analyst-toolbox/how-surfacedifference-3d-analyst-works.htm> (date of access: 04.01.2024).
16. What is a TIN surface?–ArcMap | Documentation.
URL:
<https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/latest/manage-data/tin/fundamentals-of-tinsurfaces.htm> (date of access: 04.01.2024).
17. 1 мільйон 600 тисяч туристів відвідали ТК "Буковель" за зимовий сезон

2015/2016 Курс. URL:
https://kurs.if.ua/news/1_milyon_600_tysyach_turystiv_vidvidaly_tk_bukovel_za_zy_movyyu_sezon_20152016_37515.html/ (дата звернення: 18.12.2023).

18. Змодельовані історичні дані клімату і погоди для Bukovel - meteoblue. meteoblue. URL:
https://www.meteoblue.com/uk/weather/historyclimate/climatemodelled/Bukovel_48.352N24.404E1032_Europe/Kiev

19. A GIS Geomorphologic Approach For Debris Risk Assessment: An Example In Sicily (ITALY) / V. Baiocchi et al. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. 2023. XLVIII- 1/W1-2023. P. 33–43. URL: <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-xxviii-1-w1-2023-33-2023>

20. WorldView-3 - Earth Online. Earth Online. URL:
<https://earth.esa.int/eogateway/missions/worldview-3> (date of access: 09.01.2024).

21. ALOS PALSAR. Alaska Satellite Facility. URL:
<https://asf.alaska.edu/datasets/daac/alos-palsar/>

22. EARTHDATASEARCH. URL:
<https://search.earthdata.nasa.gov/search/>

23. Подліпаєв В. Дослідження можливостей сучасного програмного забезпечення щодо створення геоінформаційних систем трансдисциплінарного використання слабо структурованих даних. Системи управління, навігації та зв'язку. Збірник наукових праць. 2020. Т. 3, № 61. С. 4–12. URL: <https://doi.org/10.26906/sunz.2020.3.004>

24. Ukraine Waterways (OpenStreetMap Export) - Humanitarian Data Exchange.

Welcome - Humanitarian Data Exchange.

URL: https://data.humdata.org/dataset/hotosm_ukr_waterways