

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського  
«Харківський авіаційний інститут»

Факультет ракетно-космічної техніки

Кафедра геоінформаційних технологій та космічного моніторингу Землі

**Пояснювальна записка**  
**до дипломного проекту (роботи)**  
(тип кваліфікаційної роботи)

магістр

(освітній ступінь)

на тему «Прогнозування негативних наслідків селевих потоків з використанням  
ГІС технологій»

ХАІ.407.462М.24О193.1804002 ПЗ

Виконав: студент 2 курсу групи № 462М

Спеціальність 193 Геодезія та землеустрій  
(код та найменування)

Освітня програма Геоінформаційні системи та  
технології

(найменування)

Баранов М.В.

(прізвище та ініціали студента (ки))

Керівник: Горелик С.І.

(прізвище та ініціали)

Рецензент: Полупан А.В.

(прізвище та ініціали)

Харків – 2023

НАЦІОНАЛЬНИЙ АЕРОКОСМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ім. М.Є. ЖУКОВСЬКОГО  
«Харківський авіаційний інститут»

Факультет ракетно-космічної техніки

Кафедра геоінформаційних технологій та космічного моніторингу Землі

Освітньо-кваліфікаційний рівень магістр

Напрямок підготовки 193 Геодезія та землеустрій  
(назва і шифр)

Освітня програма Геоінформаційні системи та технології  
(найменування)

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри, голова циклової  
комісії

к.т.н. Горелик С.І.

“ 23 ” жовтня 2023 року

**З А В Д А Н Н Я**  
**НА ВИПУСКНУ РОБОТУ СТУДЕНТА**

Баранов Микита Володимирович

(прізвище, ім'я, по батькові)

Тема випускної роботи: Прогнозування негативних наслідків селевих потоків з використанням ГІС технологій

керівник випускної роботи: Горелик Станіслав Ігорович, к.т.н., доцент

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

затверджені наказом Університету №2001-уч від «15» листопада 2023 року

2. Термін подання студентом кваліфікаційної роботи 11.01.2024

3. Вихідні дані до випускної роботи космічні знімки, векторні шари OpenStreetMap: адміністративні межі, гідрографія, будинки, туристичні об'єкти, дорожня мережа, цифрові моделі рельєфу, статистичні дані про селеві потоки.

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

Вступ, можливості прогнозування виникнення селевих потоків, поняття про селеві потоки і негативні наслідки селевих потоків, можливості використання ГІС технологій, геоінформаційна технологія прогнозування селевих процесів, вхідні дані, прогнозування негативних наслідків селевих потоків з використанням ГІС технологій, практична реалізація методики для курорту Буковель, висновки.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)  
Структурна схема основних етапів роботи. Цифрова та 3Д-модель ділянки дослідження. Прогнозні моделі руху селевого потоку при висотах – 1, 2, 5, 10 м .Прогнозні карти негативних наслідків селевого потоку різної висоти.

## 6. Консультанти розділів випускної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Основна частина	Горелик С.І.	31.10.2023	15.12.2023
	<i>зав. кафедри</i>		

Нормоконтроль Красовська І.Г. «17» січня 2024 р.

7. Дата видачі завдання 23.10.2023

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів випускної роботи	Строк виконання етапів випускної роботи	Примітка
1	Поняття про селеві потоки і негативні наслідки селевих потоків	23.10.23-29.10.23	
2	Можливості прогнозування виникнення селевих потоків	30.10.23-05.11.23	
3	Можливості використання ГІС технологій аналізу селевих потоків	06.11.23-19.11.23	
4	Геоінформаційна технологія прогнозування селевих процесів	20.11.23-03.12.23	
5	Пошук та аналіз вхідних даних методики	04.12.23-10.12.23	
6	Прогнозування негативних наслідків селевих потоків з використанням ГІС технологій	11.12.23-31.12.23	
7	Практична реалізація методики для курорту Буковель	01.01.24 - 11.01.24	

Студент \_\_\_\_\_  
(підпис)

Микита БАРАНОВ  
(прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи) \_\_\_\_\_  
(підпис)

Станіслав ГОРЕЛИК  
(прізвище та ініціали)

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до дипломної роботи: 77 сторінок, 31 рисунок, 5 таблиці, 2 додатки, 24 посилань на використану літературу.

Об'єкт дослідження: процеси побудови моделей руху селевих потоків з використанням ГІС технологій

Предметом дослідження: методика прогнозування негативних наслідків селевих потоків з використанням ГІС технологій.

Метою роботи є підвищення ефективності прогнозування негативних наслідків від сходження селевих потоків за рахунок комплексного використання контактних та дистанційних даних.

Методи дослідження: статистичний аналіз, геопросторовий аналіз, побудова прогнозних моделей, компанування картографічних моделей.

Отримані результати: сформована база геоданих об'єкту досліджень, побудована цифрова модель досліджуваної ділянки, прогнозні моделі руху селевого потоку при висоті 1, 2, 5, 10м, а також їх 3Д моделі, створені прогнозні моделі негативних наслідків селевого потоку різної висоти, визначенні об'єкти, що попадають у потенційно небезпечну зону руху селевого потоку.

Перелік ключових слів: селеві потоки, геоінформаційні системи, OpenStreetMap, цифрова модель рельєфу, космічні знімки, ДЗЗ, ArcGIS, прогнозування.

## REVIEW

Calculation and explanatory note for the degree work: 77 pages, 31 figures, 5 tables, 2 appendices, 24 references to the used literature.

Object of research: processes of building models of movement of mudslides using GIS technologies

Subject of research: the method of forecasting the negative consequences of mudflows using GIS technologies.

The purpose of the study is to increase the effectiveness of forecasting the negative consequences of mudflows due to the integrated use of contact and remote data.

Research methods: statistical analysis, geospatial analysis, construction of predictive models, mapping of cartographic models.

The results obtained: a geodatabase of the research object was formed, a digital model of the studied area was built, predictive models of mudslide movement at a height of 1, 2, 5, 10m, as well as their 3D models, predictive models of the negative consequences of mudflow of different heights were created, determination of objects that fall into the potentially dangerous zone of movement of the mudslide.

List of keywords: Mudslides, Geoinformation Systems, OpenStreetMap, Digital Terrain Model, Space Imagery, Remote Sensing, ArcGIS, Forecasting.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1 МОЖЛИВОСТІ ПРОГНОЗУВАННЯ ВИНИКНЕННЯ СЕЛЕВИХ ПОТОКІВ.....	10
1.1 Поняття про селеві потоки.....	10
1.2 Негативні наслідки селевих потоків.....	14
1.3 Можливості прогнозування грязьових потоків.....	16
1.4 Можливості використання ГІС технологій на прикладі «потопу в Мессіні».....	21
РОЗДІЛ 2 ГЕОІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ПРОГНОЗУВАННЯ СЕЛЕВИХ ПРОЦЕСІВ.....	28
2.1 Вхідні дані методики.....	29
2.1.1 Космічні знімки.....	29
2.1.2 Цифрова модель рельєфу.....	30
2.2 Аналіз геоінформаційного програмного забезпечення.....	33
2.3 Можливості інструментів геообробки даних для прогнозування ймовірних зон розповсюдження селевих потоків.....	35
РОЗДІЛ 3 ПРОГНОЗУВАННЯ НЕГАТИВНИХ НАСЛІДКІВ СЕЛЕВИХ ПОТОКІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ГІС ТЕХНОЛОГІЙ.....	38
3.1 Завантаження та прив'язка космічних знімків.....	38
3.2 Створення геоінформаційної системи прогнозування селів.....	39
3.2.1 Побудова цифрової карти курорту Буковель в середовищі ArcGIS.....	39
3.2.2 Визначення вірогідних зон розповсюдження селевих потоків інструментами ГІС.....	47
3.3 Тривимірна візуалізація ймовірних селевих потоків у ArcScene.....	51
3.4 Прогнозування негативних наслідків селевих потоків з використанням ГІС технологій.....	53
ВИСНОВКИ.....	59
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....	60

ДОДАТОК А Плакат на тему «Прогнозування негативних наслідків селевих потоків з використанням ГІС технологій».....	63
ДОДАТОК Б Презентація на тему «Прогнозування негативних наслідків селевих потоків з використанням ГІС технологій».....	64

## ВСТУП

Селеві потоки є одним з найнебезпечніших геологічних процесів, які

п

р

и

з

в Використання ГІС технологій в цьому контексті відкриває широкі можливості для вдосконалення прогнозування та мінімізації негативних наслідків селевих потоків. Це дозволить: зменшити ризик для населення, ефективного використання ресурсів для прогнозування, моніторингу змін в ландшафті, вдосконалення систем раннього попередження, взаємодії з громадянськістю.

Отже головною задачею є прогнозування виникнення селевих потоків та оцінка їх можливих наслідків. Прогнозування сходження селевих потоків раніше відбувалося за метеорологічними й геолого-геоморфологічними дослідженнями. Поява геоінформаційних технологій прогнозування, а також можливість залучення з відкритих джерел цифрової моделі місцевості, космічних знімків, даних про інфраструктуру та ін. значно підвищило ефективність прогнозування негативних наслідків.

л Метою роботи є підвищення ефективності прогнозування негативних наслідків від сходження селевих потоків за рахунок комплексного використання контактних та дистанційних даних.

н Завдання дослідження:

и 1. Проаналізувати сучасні можливості прогнозування виникнення селевих потоків та оцінки їх наслідків

2. Проаналізувати наявні контактні і дистанційні дані та методики їх обробки.

у

й

н

у

в



3. Розробити методику прогнозування розповсюдження селевого потоку при його різній висоті за рахунок використання геоінформаційних систем і технологій.

4. Практична реалізація розробленої методики на прикладі курорту Буковель, с. Поляниця (Івано-Франківська обл.)

Об'єкт дослідження - процеси побудови моделей руху селевих потоків з використанням ГІС технологій

Предметом дослідження є методика прогнозування негативних наслідків селевих потоків з використанням ГІС технологій.

## РОЗДІЛ 1 МОЖЛИВОСТІ ПРОГНОЗУВАННЯ ВИНИКНЕННЯ СЕЛЕВИХ ПОТОКІВ

### 1.1 Поняття про селеві потоки

Селями чи селевими потоками називають стрімкі руслові потоки, що складаються із суміші води та уламків гірських порід, що раптово виникають у басейнах невеликих гірських річок.



Рисунок 1.1 – Селевий потік, який зруйнував частину міста

Головною особливістю цих потоків служить висока насиченість уламковим матеріалом, яка становить від 10 до 75% обсягу рухомої маси. Для порівняння: вміст зважених частинок у гірських річках рідко перевищує 1-2%. При таких високих показниках насиченості об'ємна вага або щільність селевої суміші лежить у діапазоні 1100–2500 кг/м<sup>3</sup>. Висока об'ємна вага селевої суміші є однією з причин інерційності потоку, тобто прагнення до збереження прямолінійного руху. Звідси – лобовий удар та викиди селевої суміші на крутих поворотах русла [1].

Серед селевих потоків виділяються: зв'язані, або структурні, турбулентно-текучі водокам'яні та турбулентно-грязекам'яні [2].

Інша характерна риса руху селів – його пульсаційний чи хвильовий характер. За час сходження селю (в середньому 1-4 години) проходять десятки і навіть сотні хвиль. Крутий передній фронт (чоло) хвилі утворює «голову» селя. Фронт хвилі в 1,5 рази вищий за тіло потоку і складається переважно із великих уламків гірських порід. Характерні значення глибини селевих потоків становлять 2-10 м, ширини – від 3-5 до 50-100 м. Максимальний розмір переміщених уламків лежить у межах від 2-4 до 8-10 м у поперечнику. Швидкість селів лежить у діапазоні від 1-2 до 8-10 м/с (від 4-7 до 30-36 км/год), максимальна витрата становить від 10-50 до 5000-10000 м<sup>3</sup>/с. Сходження селю супроводжується гулом та вібрацією поверхні землі.

Максимальні витрати селевих потоків перевищують максимальні витрати водних паводків у тих самих басейнах у десятки разів. Схід селів супроводжується значною глибинною та бічною ерозією русла, підмивання бортів долин. Селеві потоки виносять до підніжжя хребта або на дно головних річкових долин величезна кількість уламкового матеріалу. Характерні значення одноразового обсягу винесення селю уламкових мас становлять десятки – сотні тисяч м<sup>3</sup> досягаючи у високогір'ях 5–6 млн м<sup>3</sup>. Один селевий потік за десятки хвилин виносить масу уламків, яку звичайна гірська річка переміщує протягом 50-100 років [1, 2].

Будова селевих потоків наведена на рис. 1.2-1.3

Важливою особливістю режиму селів є нерегулярність їхнього сходу. Повторюваність (частота сходу не більше одного селевого басейну) лежить у широкому діапазоні: від кількох випадків за сезон до одного рази на 20-40 років, становлячи в середньому один раз на 10 років. Безпосередніми причинами формування селів є інтенсивні або тривалі зливи, інтенсивне танення снігу та льоду, рідше – прорив тимчасових чи постійних підпрудних озер. Селеві потоки виникають також при виверженні вулканів, землетрусах силою 7–8 балів та вище. Передумови утворення селів створюють наслідки господарську діяльність

– зведення лісів, складування відвалів на схилах гір та інших. Необхідними умовами зародження селевих потоків служать великі витрати води в руслі, що перевищують максимальні витрати водних паводків, наявність рихлоуламкових (легко розмиваються) гірських порід на дні та схилах долини та значні ухили русла та схилів. Перша з цих умов забезпечує розмив русла та берегів, друге – залучення у водний потік уламкових мас та утворення селевої суміші, третє – рух цієї суміші вниз по долині.

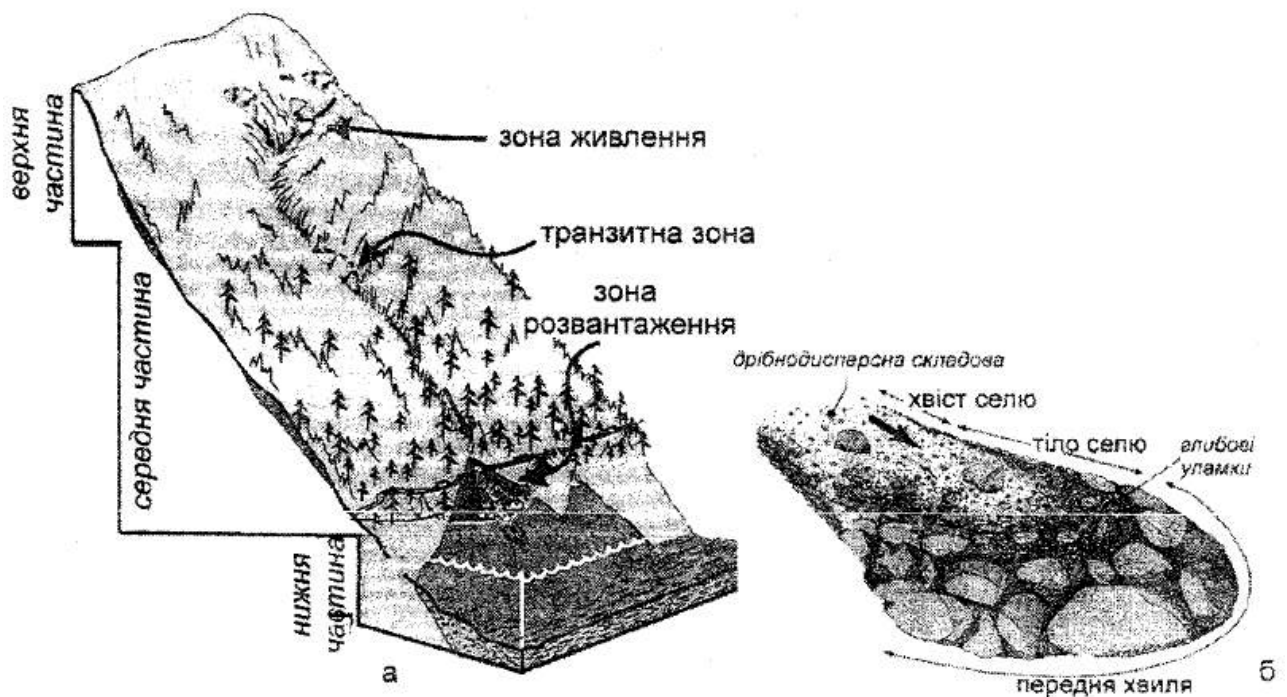


Рисунок 1.2 – Принципова схема будова селевого потоку

Реалізація селевого процесу, що складається з етапів підготовки, зародження, руху та акумуляції селевого потоку відбувається в межах окремих гірських водозборів – селевих басейнів. Найчастіше це невеликі річкові басейни – притоки головних річок, що розчленовують макросхили гірських хребтів. Площа їх становить від 1-2 до 100-200 км<sup>2</sup>, а середній характерний ухил водотоку – 100-300‰. У посушливих областях водотоки селевих басейнів часто є тимчасовими [2].

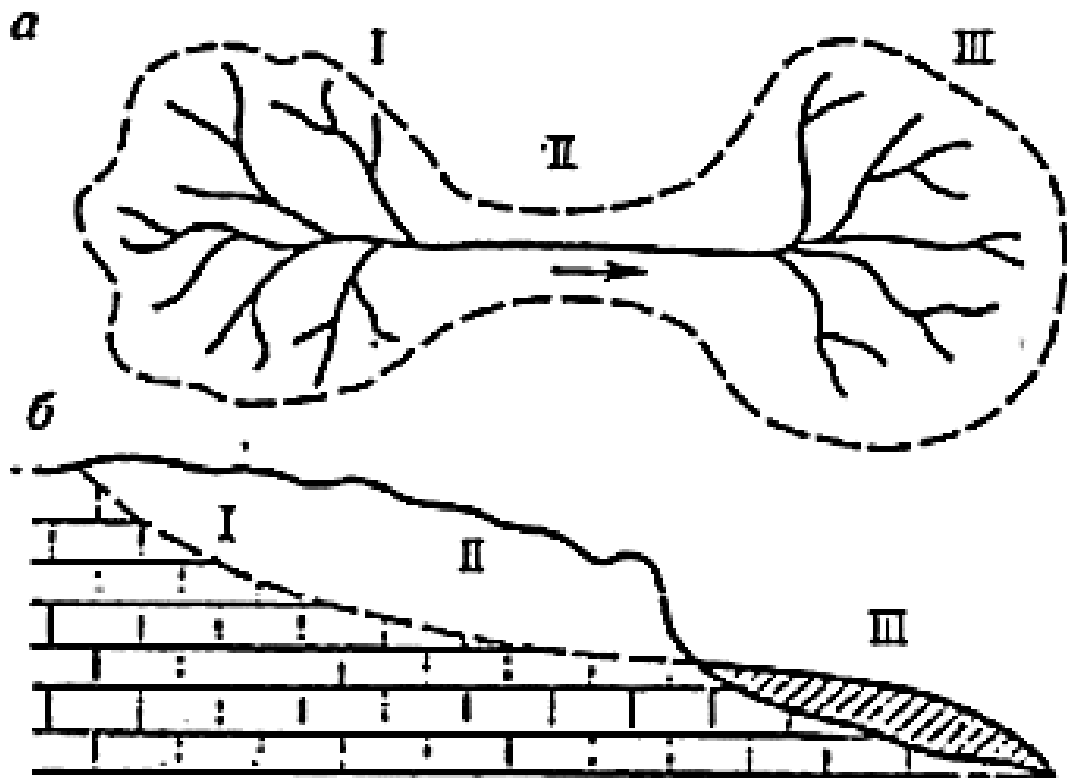


Рисунок 1.3– Схематичний план (а) й продольний профіль (б) селевого потоку: I – ділянка формування селю (водозбірний басейн); II - зона транзиту; III – зона акумуляції.

Серед екзогенних процесів селеві явища займають проміжне положення між водноерозійними (флювіальними) та зсувними (гравітаційними). Селеві потоки низької щільності близькі за властивостями до водних паводків, високої густини – до зсувів течії (зсуви-потоки, спливи, опливини).

Селеві потоки поширені практично повсюдно в горах та в окремих районах піднесених рівнин. Гори займають близько 20%, а селенебезпечні території – близько 16% площі суші Землі. Схід селів в освоєних районах призводить до людських жертв і значних матеріальних збитків. Основні форми шкідливого впливу селів – руйнування або пошкодження будівель та споруд на шляху сходу і занесення територій брудокам'яною масою. Від селевих потоків страждають міста та населені пункти, залізниці та шосейні дороги, лінії електропередачі та зв'язку, нафтогазопроводи, канали, сільськогосподарські угіддя, центри

рекреації. З метою зменшення селевої загрози розробляються методи оцінки селевої небезпеки та ризику, прогнозу селів, способи захисту від селевих потоків та зниження активності селевого процесу [1].

Селеві потоки утворюють біля підніжжя гір пролювій, або пролювіальні відклади. Потужність їх досягає десятків метрів. Ці відклади залягають шарами, оскільки утворюються вони виносом різної сили, які повторюються. У товщах пролювію суглинки і супіски чергуються з пісками, гравієм та галечниками.

Боротьба з руйнівною діяльністю поверхневих текучих вод ведеться шляхом профілактичних й інженерних заходів. Найважливішими профілактичними заходами є: заборона оранки схилів, а також вирубування на них лісу та чагарників. Інженерні заходи, які застосовують для боротьби з ярами, полягають в обладнанні у верхній їх частині швидкотоків, а на дні – плотових, фашинних або кам'яних загат. Ділянку, що прилягає до верхів'я яру, засаджують чагарниками. Для збереження берегів від розмивання річковими водами їх укріплюють брукуванням каменем на мохові або щебені, вимощуванням у плотових клітках та будівництвом дамб і напівзагат, що спрямовують. Дамби будують на ввігнутих берегах, а напівзагати – на опуклих із різноманітних матеріалів: фашин, каменю і бетону. Боротьбу зі селевими потоками ведуть шляхом будівництва гребель, селеуловлювачів, дамб для спрямування потоку, а для захисту доріг – селеспусків. Селеспуски будують у вигляді великих залізобетонних лотоків на опорах над дорогами для перепуску 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.

Основними причинами небезпеки від селів для життя людей та господарських об'єктів служать: а) несподіванка сходу селів у зв'язку з важкою його передбачуваністю; нерідко селеві потоки сходять вночі; б) значна швидкість та глибина потоку; в) ударний впливність потоку, що призводить до руйнування будівель, мостів та інших споруд; г) глибинна та бічна ерозія русла, яка веде до руйнування полотна автомобільних доріг, руйнування мостів та будівель, розташованих на березі; д) занесення земель у зоні акумуляції – полотна автомобільних та залізниць, територій населених пунктів, сільськогосподарських угідь.

Крім ефектів прямого впливу селевого, що рухається поструму існують ефекти вторинного впливу, що виникають після сходу селів. Вони пов'язані з підпружуванням річки, в якій акумулюється основний обсяг селевих виносів. Це в деяких випадках призводить до: а) повені на території населених пунктів, розташованих вище за течією від тимчасової греблі; б) прориву плотини і формування вторинного селевого потоку або паводка; в) виникнення «селевого стану» на обмеженому відрізку основної (не селевої) ріки.

Руйнівний характер ультраселевих потоків носить, як правило, катастрофічний характер, оскільки параметри їх на два порядку перевищують параметри звичайних селей. Схід їх супроводжується багаточисельними жертвами, призводить до заносу фарватеру судохідних річок (р. Колумбія, США, 1980 р.), до значущих переривам у використанні рік як джерел водоспоживання.

До об'єктів народного господарства, які часто піддаються шкідливому впливу селей, відносяться: міста й населені пункти, залізничні і шосейні дороги, лінії зв'язку й електромережі, канали, трубопроводи, сільського господарства, альпіністські лагери, турбаз та інші об'єкти рекреації.

Основною причиною їх уразливості служать: розташування на конусах виносу, на дні долин або міжгірських западин у підніжжя хребтів, – переважно в

зоні акумуляції та транзиту селевих потоків. Вразливість лінійних споруд закладена в їх непереривчастості: вони неминуче перетинають шляхи сходження селів [5, 6].

Селі, як і інші небезпечні природні процеси, завдають соціальний та економічний збиток. До соціальної шкоди відносяться загибель людей та порушення ритму суспільного життя. Економічні збитки ті, що наноситься об'єктам народного господарства та має коштовну оцінку. Він включає в себе непоправні втрати, і витратина ліквідацію наслідків.

Економічний збиток поділяється на прямий та непрямий. Прямий збиток – наслідок фізичної дії селевого потоку на об'єкт; він піддається точному обліку. Зазначимо характерні об'єкти та основні галузі господарства, які використовуються при оцінці прямих збитків: а) промислові підприємства: будівлі, сировина, готова продукція; б) сільське господарство: загибель врожаю і худоби, змив і знесення ґрунту; в) транспорт: дороги, споруди, рухомий склад; г) лінійні споруди: ЛЕП, газопроводи, іригаційні канали; д) спортивно-оздоровчі будівлі та споруди в горах [6].

Для оцінки суми прямих збитків до втрат в об'єктах господарювання додаються витрати ліквідацію наслідків стихійного лиха.

Непрямі збитки утворюються в результаті порушення ритму господарчого життя, – перерви в русі транспорту, в подачі електроенергії, газу, у роботі зв'язку. Непрямі збитки складають від 50 до 200% прямого. Практично в більшості випадків враховується лише прямий збиток.

Сума прямої та непрямой шкоди утворює фактичну шкоду. Виділяють також очікувані збитки – величину прямих і непрямих втрат, яка можлива у разі сходження селів. Величина очікуваної шкоди є основним критерієм при обґрунтуванні заходів захисту від селів [7, 8].

### 1.3 Можливості прогнозування грязьових потоків

Питанням прогнозування селеутворення займалися давно. Виділені основні групи факторів, які впливають на утворення селів і їх можливо прогнозувати.



Селеві потоки – складні явища, виникнення та формування яких визначається сумою факторів як природного, так і антропогенного характеру. Ці фактори утворюють три групи: клімато-ландшафтну, геолого-геоморфологічну та групу, пов'язану з наслідками господарської діяльності (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, багатогорічна мерзлота ґрунту, ґрунтово-рослинний 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 входять фактори, прямо пов'язані з кліматом: ливневі дощі, сніговий покрив, сучасне гірське заледеніння, багатогорічна мерзлота ґрунту, ґрунтово-рослинний покрив. У другу групу входять рельєф, склад гірських порід та ендегенні процеси – неотектоніка, землетруси, вулканізм.

Клімато-ландшафтні фактори. Зливи. Найбільша частина селів утворюється внаслідок злив або після продовження дощів. У Європі по статистиці 1970-х років селеві потоки, викликані зливами та затяжними дощами, становили

близько 95% числа випадків із встановленими ними причинами. Злив це сильний дощ вище за певний межі, з урахуванням її тривалості. За нижній кордон ливня приймають дощ, інтенсивність якого, наприклад, складає 0,5 мм/хв при тривалості 5 хв або 0,2 мм/хв при тривалості 1 год. Максимальне значення інтенсивності зливи становить 31 мм/хв, а тривалості – 24 години; шар опадів у варіює від 30 до 1800 мм [9].

Рідкі опади як вирішальний фактор формування паводків та дощових селів поділяються на три типи, в яких враховуються відмінності в інтенсивності, тривалості та площі зрошування: зливи, зливи, облогові дощі.

Зливи – короткі та інтенсивні дощі тривалістю не більше 2-4 годин із середньою інтенсивністю не менше 10–20 мм/год; зрошують одночасно невеликі території площею до десятків-сотень квадратних кілометрів; за 2-4 години випадає до 100-150 мм опадів.

Зливові дощі – тривалі та інтенсивні дощі тривалістю від кількох годин до кількох діб і середньої інтенсивністю щонайменше 2–10 мм/ч; зрошують одночасно великі простори – від десятків тисяч до сотень тисяч квадратних кілометрів; дають за кілька діб до 150-300 мм опадів.

Облогові дощі – тривалі та малоінтенсивні дощі, тривають від кількох годин до кількох діб з рівномірною інтенсивністю менше 2 мм/год; зрошують великі площі – десятки та сотні тисяч квадратних кілометрів.

При випаданні дощів частина опадів затримується кронами дерев і чагарників, частина йде на вбирання (інфільтрацію) в ґрунт, а решта формує поверхневий стік. Найбільш сприятливі умови для стоку створюються на схилах, складених виходами скельних, глинистих та суглиннистих порід, на альпійських луках.

Швидке скидання води зі схилів у русло забезпечує зростання розходів у десятки та сотні разів, що веде до глибинного та бокового розмиву русла та трансформації водного паводку в селевий потік.

У процесі формування дощових селів беруть участь також «крапельна ерозія» і ґрунтовий стік. Зі зростанням інтенсивності дощу збільшується діаметр

дошових крапель та швидкість їх падіння від 1 до 6 мм і від 4 до 9 м/с відповідно. Ударна дія дошових крапель призводить до погіршення водопроникності ґрунтів (тобто, до збільшення поверхні стоку) і до зростання каламутності в потоках малої глибини на схилах, а, зрештою, й у руслі [9].

Геолого-геоморфологічні чинники. Рельєф. Вплив особливостей рельєфу на селевий процес багатосторонньо. Можна виділити наступні характеристики рельєфу, через які цей вплив реалізується: абсолютна висота, глибина та густина розчленування, ярусність. Зі зростанням абсолютної висоти гір зростає крутість схилів і швидкості денудації. На крутіших схилах зростає рушійна сила водних потоків і, відповідно, їхня здатність, що розмиває. Зріст швидкості руйнування гірських порід з висотою забезпечує більш високий рівень підготовки твердої складової селів. Зі збільшенням висоти гір збільшується і середній ухил постійних та тимчасових водотоків, що створює більш сприятливі умови для формування селів. Від абсолютної висоти гір залежить і наявність сучасного гірського заледеніння, що, як було зазначено вище, якісно змінює умови селеформування. Говорячи про позитивний вплив абсолютної висоти гір на перебіг селевих процесів, слід пам'ятати, що високо підняті, але слабо розчленовані блоки земної кори такого ефекту не дають.

Склад гірських порід. При аналізі зв'язку «гірські породи – селеві процеси» доцільно використовувати підрозділ порід на групи, прийняте в інженерній геології, оскільки головним критерієм тут служать властивості порід, зокрема, по відношенню до атмосферних впливів. У районах, складених переважно осадовими групами порід, зростає обсяг виносу завислих наносів. В цілому магматичні гірські породи найменш сприятливі для формування твердої складової селів, осадові сцементовані – більш сприятливі та осадові несцементовані (пухкі) – найбільш сприятливі [10].

Величезна роль у формуванні селів належить пухким четвертинними відкладенням різного генезису. У більшості випадків саме ці породи забезпечують тверду складову селів сучасного періоду. У гірських породах, що легко вивітрюються або розмиваються селеві потоки формуються частіше.

Речовий склад селевих потоків повністю визначається складом гірських порід в осередках зародження та твердого живлення селів.

Наслідки господарської діяльності. Вплив господарської діяльності на перебіг селевих процесів носить прямий або опосередкований характер. У першому випадку йдеться про виникнення штучних вогнищ зародження селів внаслідок складування відвалів гірничодобувних підприємств, будівництва водосховищ з неякісними греблями, дорожніх та інших будівельних робіт, з використанням вибухових речовин, що порушують рівновагу покривних відкладів на схилах. Круті укоси відвалів утворюють масу пухкої породи, яка при обводненні починає обповзати і розмиватися, даючи початок селевого потоку. Руйнування гребель водосховищ в умовах гірського рельєфу викликає утворення проривної хвилі, яка, володіючи великою енергією розмиву, швидко трансформується у селевий потік.

Селеві потоки, що виникають в результаті прямої зміни людиною умов формування твердої та рідкої складової селів, належать до категорії антропогенних (техногенних). Їхня кількість досить велика, хоча поширення носить локальний характер [9, 11].

Наприклад, у Китаї зареєстровано 28 копалень, де внаслідок зсуву і розмиву відвалів сформувалися селеві потоки. У відвалах вугільних шахт України такі селеві потоки формуються доволі часто.

Опосередкований характер впливу людини на хід селевих процесів проявляється через знищення природного рослинного покриву, особливо лісового. Цей тип впливу почався в епоху стародавніх цивілізацій і продовжується до теперішнього часу. У багатьох гірських системах верхня межа лісу опустилася на 200-400 м і більш або корінні лісові спільноти заміщені редколіссями, луками, пустими ділянками. Зведення лісів та деградація рослинного покриву внаслідок перевипасу призвели до зростання ерозії в десятки-сотні разів і до активізації селевих процесів, включаючи появу нових районів селеформування. В Індії, в штаті Пенджаб (включаючи схили хр. Сивалик), внаслідок екстенсивного розвитку землеробства та тваринництва

протягом кількох тисячоліть мусонні листопадні ліси змінилися сухим степом. Внаслідок активізації селевих і тимчасових водних потоків родючі землі підніжжя хребта заносяться їх виносом. В альпійських країнах Європи селеві процеси посилюються внаслідок освоєння гір у XVIII–XIX ст. У низькогір'ях Великобританії – найбільш знелісненої країни Європи – випадки сходу селів схилового типу стали нерідким явищем. Людина «привела з собою» селеві потоки і на височини рівнин. Зведення лісів і орання земель на Східноєвропейській рівнині викликали, разом із зростанням яроутворення, окремі випадки сходу селів у них.

Селеві потоки, що виникли внаслідок порушення ґрунтового- рослинного покриву та зміни характеру стоку, відносяться до категорії природно-антропогенних. На відміну від власне антропогенних (техногенних) поширення їх носить регіональний характер, оскільки зведення лісів і перевипас охоплювало, як правило, значні площі [9, 12].

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

У роки після «потопу в Мессіні» ENEA створила добре організовану базу геоданих про селі, включаючи інвентаризацію селів та тематичні дані. Базу геоданих було реалізовано за допомогою іншого програмного забезпечення ГІС (Arcview, ArcGIS, QGIS), але повністю змінено в останніх версіях QGIS (до 3.28 – Firenze). Він став основним інструментом для створення оновленої інвентаризації селів, сприйнятливості до зсувів і карт оцінки небезпеки та ризику. Було проведено інвентаризацію селів, яка містила сотні стрімких неглибоких зсувів, спричинених проливними дощами 1 жовтня 2009 року, ідентифікованих за допомогою аерофотознімків та польових досліджень [19].

Для геоморфологічної інтерпретації були використані високомасштабні аерофотознімки, спеціально отримані після події 1 жовтня 2009 року Управлінням цивільного захисту. Цифрова модель місцевості розміром комірки

2 метри, основою для морфометричного аналізу. Через відсутність детальної ґрунтової карти було використано геологічну карту 1:50 000 провінції Мессіна. Для просторового визначення геотехнічних характеристик (кут тертя, вага та когезія). Чотирнадцять утворень, що відслоняються на досліджуваній території, виділено на 6 класів: зернистий А та В, шаруватий А і В, масивний і кристалічний.

Карту товщини ґрунту було виготовлено з використанням модельного підходу GIST, напівоб'єктивний комплексний процес, спрямований на визначення чотирьох індексів рівняння (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;

$\eta$  – індекс, пов'язаний із положенням уздовж профілю ухилу, а  $\psi$  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.

Розповсюдження матеріалу, відірваного швидким селевим потоком, є комбінацією кількох причин і елементів, які надзвичайно важко відтворити та проаналізувати у відповідних та вичерпних моделях. Широко поширені два основних типи процедур декілька параметрів фізичних процесів. Розширення досліджуваної території та мета дослідження зазвичай обумовлюють вибір між двома підходами, що включають різні деталі, масштаби та зусилля.

Підхід чисельного моделювання особливо підходить для характеристики окремої події в масштабі схилу та для розробки робіт зі стабілізації схилу, навіть якщо нещодавні дослідження демонструють більш широке застосування.

Емпіричні/геометричні методи ґрунтуються на простих кореляціях між деякими параметрами зсуву та витокком. Незважаючи на надзвичайне спрощення динаміки досліджуваних явищ, ці методи можуть забезпечити прогнозування масштабів поширення селевого потоку з хорошою надійністю. Крім того, вони можуть успішно підтримувати тих, хто приймає рішення, і узгоджуються з останніми рекомендаціями щодо оцінки ризику зсувів [19].

У цьому дослідженні було застосовано емпіричний/геометричний підхід. Оцінка небезпеки розповсюдження була проведена, починаючи зі 100 ділянок ініціації, вибраних випадковим чином з інвентаризації зсувів. Вибраний набір даних було розділено на два піднабори даних: 50 початкових ділянок із польовими вимірюваннями товщини ґрунту, розташованими за допомогою Garmin GPSMAP 65, були використані для калібрування місця використовується для дослідження биття: емпірично-статистичні вирази, в основному засновані на

кореляції геометричних параметрів, і аналітичні/числові моделі, які імітують конкретне рівняння биття, тоді як решта 50 використовувалися як набір даних перевірки. Ці останні були обрані, уникаючи тих, що не чітко описані в усіх їхніх компонентах. Фактично, уступ, місце початку, шлях або підніжжя кількох зсувів, які містяться в інвентарі, не завжди чітко показані 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.

Згодом до набору даних перевірки зсувів було застосовано три різні інструменти ГІС, реалізовані за допомогою кількох алгоритмів, доступних у бібліотеці інструментів обробки QGIS. Грунтуючись на розробці DTM, перший інструмент створив новий лінійний шар, що складається з траєкторії краплі води, тобто траєкторії, яку крапля води пройде по поверхні землі.

Застосовуючи специфічні для місця параметри рівняння Легро, другий інструмент розрізає кожен шару шляху крапельної води на певній розрахунковій відстані бігу. Після того, як шлях збігу кожного потенційного селевого потоку було накреслено, третій інструмент призначає розподіл швидкості вздовж шляхів. Впроваджуючи інструмент, динаміку розповсюдження було значно спрощено шляхом виготовлення

Базуючись на польових вимірюваннях, інструмент припускає, що, починаючи з  $0$  м/с у вищій точці основного уступу (точка початку селевого потоку), мобілізовані маси прискорюються до точки максимальної швидкості ( $8,4$  м/с), досягнутої в одну чверть шляху, а потім уповільнюється. Вважаючи постійним об'єм уздовж шляху та однорідними реологічними характеристиками



мобілізованих мас, зокрема щільність ( $\delta = 2000 \text{ кг/м}^3$ ), сила удару кожного потенційного швидкого мілкового селевого потоку була оцінена як пропорційна кінетичній енергії, дискретизованій у чотирьох класах кілька необхідних наближень. Серед основних з них є стандартизація процесу розповсюдження всіх потенційних зсувів і застосування лінійних змін у розподілі швидкості як у фазах прискорення, так і уповільнення.

Було створено 10-метровий буфер накресленої траєкторії кожного селевого потоку, приписуючи різним двадцяти секторам багатокутників кожного шляху селевого потоку різну силу удару. Отже, проаналізована територія була дискретизована шляхом виділення областей з різною сприйнятливістю, до яких повинен бути досягнутий мобілізований матеріал з різною руйнівною здатністю.

Аналіз впливу спрямований на приписування значення всім видам типології елементів, присутніх на території, які піддаються певній небезпеці і, отже, схильні до потенційних втрат. Типи елементів, які піддаються стихійній небезпеці, це населення, споруди та інфраструктура, власність, економічна діяльність, громадські послуги та будь-які інші цінності, присутні в певній території, що підлягає аналізу ризику.

Інтегруючи CLC та інші доступні дані, було ідентифіковано шістнадцять різних типів відкритих елементів: безперервна та розривна міська тканина, чотири типи будівель громадського інтересу (школи, церкви, цвинтарі, інші громадські будівлі), культивовані території, ліси, пасовища та чагарники, колії, дороги, автомагістралі, залізниці, АЗС, лінії електропередач і вежі. Відносне значення від 1 до 4 (від нижчої до вищої важливості) було присвоєно кожному класу експонованих елементів на основі якісних оцінок соціальної та економічної важливості небезпеки». Він визначається як ступінь втрати одного або кількох елементів унаслідок природного явища певної величини та загалом виражається за шкалою від 0 до 1, відповідно «без пошкоджень» і «повна втрата». Для людей вразливість відповідає ймовірності того, що природна подія може стати жертвою. Серед методів, які використовуються для аналізу вразливості, є емпіричні, в яких зазвичай надаються дискретні значення для

діапазону інтенсивності зсувів. У цьому дослідженні різний ступінь відносної вразливості від 1 до 4 (від нижчої до вищої вразливості) приписували відкритим елементам на основі різної очікуваної реакції кожного класу на навантаження, спричинені явищами сміттєвих потоків різної інтенсивності. Серед іншого, наступні міркування керувалися присвоєнням значень вразливості:

- будівлі громадського значення (наприклад, школи) і розривна міська тканина повинні мати міцніші будівельні характеристики, ніж будівлі в історичних центрах і церквах, а також у більш старовинних селах, які становлять суцільну міську тканину;

- віадуки та тунелі роблять 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 ( $P_2=0,7369$ ) 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.

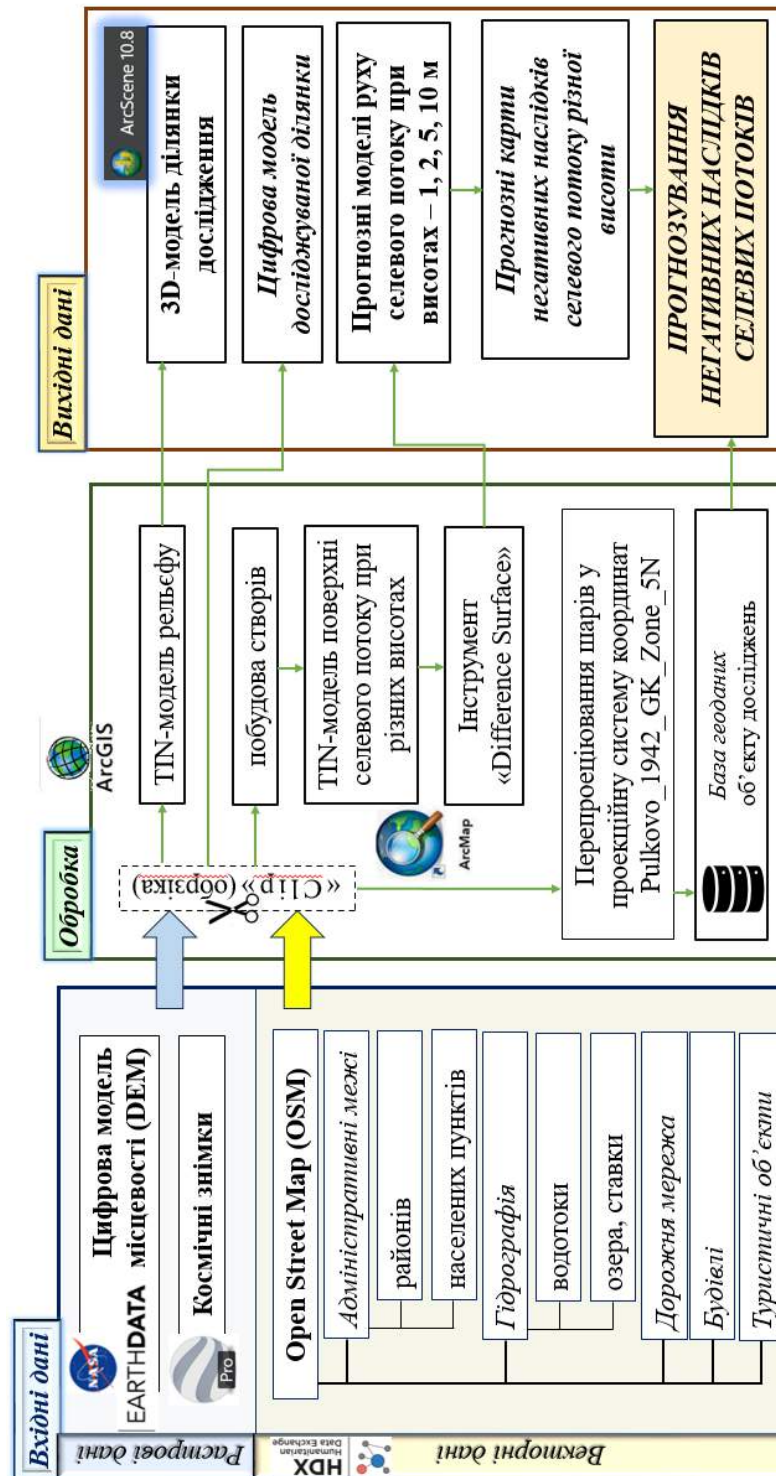


Рисунок 2.1 – Структурна схема розробленої методики

## 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 дуже актуальними для процесу моделювання руху селевих потоків та визначення об'єктів, що потрапляють у зону лиха. Ідентифікація таких об'єктів можлива тільки по знімках з надвисоким просторовим розрізненням. У вільному доступі можна отримати не прив'язані знімки з програми Google Earth Pro.

Google Earth Pro (Google Планета Земля Pro) - чудовий тривимірний глобус, що дозволяє обробляти, аналізувати та візуалізувати геодані на основі супутникових фотографій високої роздільної здатності. Цей інструмент є розширеною версією Google Earth Free, надаючи доступ до аерофотознімків, ГІС-даних, панорам перегляду вулиць, історичних знімків, а також інших цікавих відомостей. Завдяки просунутому функціоналу, у Google Планета Земля можна креслити план місцевості, вимірювати та візуалізувати об'єкти на карті, у тому числі й тривимірні. Крім того, Google Планета Земля має і низку інших корисних професійних опцій та функцій: друк скріншотів у високій роздільній здатності, додавання на карту великих наборів ГІС-даних, швидкий імпорт великої кількості адрес, вимірювання площі за допомогою багатокутника або кола, включення шарів з демографічною статистикою, даними про земельні ділянки та завантаженість доріг. Програма Google Earth Pro повністю безкоштовна, проте перед використанням потрібна проста реєстрація. Google Earth Pro використовує дані Махаг.

Більшість території України покрита мозаїкою знімків з просторовим дозволом не гірше 1 метра (продукт Maxar Vivid), а багато великих міст знято з роздільною здатністю до 31 сантиметра на піксель (продукт Maxar Metro). Знімки отримані з DigitalGlobe: WorldView-4, Worldview-3, WorldView-2, Worldview-1 і GeoEye-1.

Найчастіше використовується супутник Worldview-3. WorldView-3 – перший мультиспектральний комерційний супутник надвисокої роздільної здатності з великим корисним навантаженням. Працюючи на орбіті висотою 617 км, супутник WorldView забезпечує роздільну здатність 31 см у панхроматичному режимі, 1,24 м у мультиспектральному режимі, 3,7 м у короткохвильових ІЧ-каналах (SWIR) та 30 м апаратурою CAVIS. Період повторного спостереження <1 добу. Супутник WorldView-3 здатний проводити зйомку до 680 000 км<sup>2</sup> щодня, дозволяючи DigitalGlobe (нині Maxar Technologies) швидше отримувати актуальні дані. Особливості: надвисокий просторовий дозвіл, найбільше комерційно доступних діапазонів зйомки: панхроматичний канал, 4 стандартні VNIR-канали: blue, green, red, near-IR1, 4 додаткові VNIR-канали: coastal, yellow, red edge, near-IR2, SWIR-каналів: Penetrates haze (димка), fog (густий туман), smog (зміг), dust (пил), smoke (дим), mist (туман), cirrus (перисті хмари), 12 CAVIS-каналів: корекції за хмари, аерозолі, водяну пару, лід та сніг, зйомка великих площ (Large Area Correct, 65,5 x 112 км, 5 смуг), безліч точкових об'єктів (Multiple Point Targets 13,1 x 13,1 км. кожен об'єкт) [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 надіра.

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
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

Продовження таблиці 2.1

1	2	3	4	5
Кут поза Надіром	34,3° (за замовчуванням)	34,3° (за замовчуванням)	27,1° (за замовчуванням)	21,5° (за замовчуванням)
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.

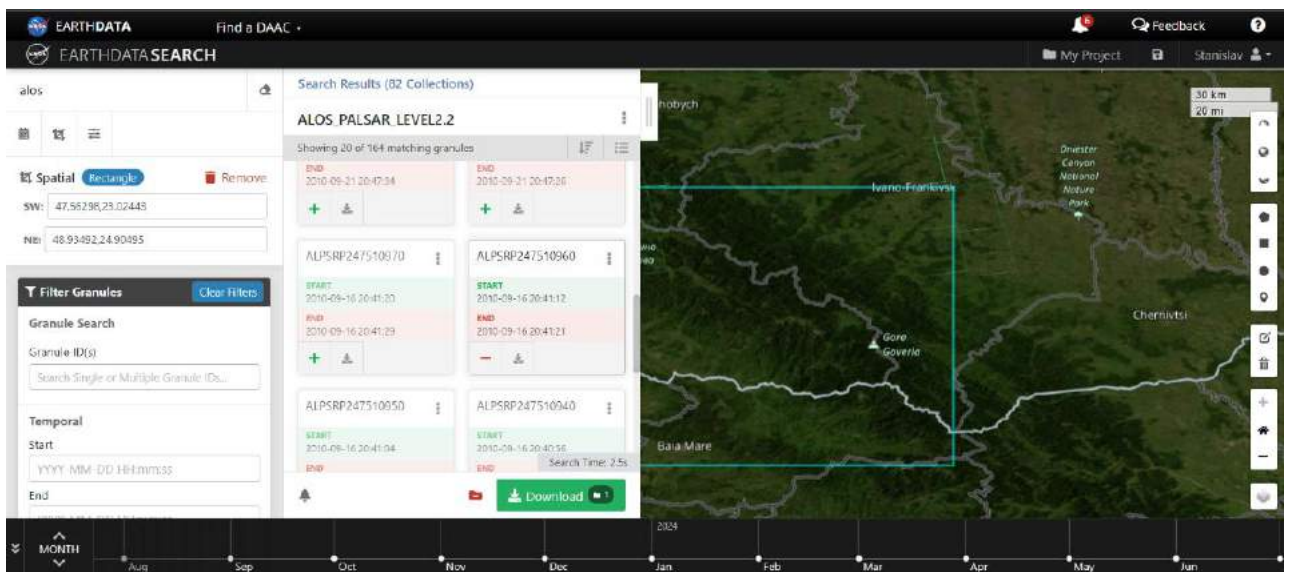


Рисунок 2.2 – Геопортал EarthDATA



## 2.2. Аналіз геоінформаційного програмного забезпечення

Ефективне прогнозування наслідків селевих потоків можливе тільки при застосуванні геоінформаційних систем (ГІС) і технологій. Сьогодні існує безліч ГІС, які дозволяють вирішувати актуальні задачі з геопросторовою прив'язкою.

Найбільш популярні ArcGIS і QGIS. Нижче наведені їх характеристики.

ArcGIS представляє собою високопрофесійну геоінформаційну систему (ГІС), розроблену для аналізу та обробки великих обсягів даних. Ця система забезпечує контроль топологічних взаємозв'язків та має потужний аналітичний функціонал.

Платформа ArcGIS складається з програмних додатків, які інтегровані в єдиний комплекс, що забезпечує роботу з необробленими даними за допомогою розширеного аналізу та спеціалізованих додатків. Це дозволяє інтегрувати всі типи даних про території та застосовувати складні аналітичні методи.

Результати обробки та аналізу даних представлені у вигляді карт, діаграм та графіків. Обробка геопросторових даних включає в себе значну кількість інструментів для розв'язання як простих просторових задач (наприклад, побудова буферів, операції з полігонами, комплексний регресійний аналіз і класифікація зображень), так і більш складних (наприклад, моделювання і аналіз комплексних просторових відносин для розрахунку оптимального маршруту через транспортну сітку, прогнозування розповсюдження природних пожеж, аналіз і пошук закономірностей і розташуванні місць скоєння злочинів, прогнозування повені в наслідок зливи та інше).

При обробці геопросторових даних використовуються загальні принципи перетворення даних. Інструментарій дозволяє обробляти наступні набори даних: вектор, растр, таблиця, в результаті чого створюються нові набори даних. Особливістю є наявність спеціалізованих методів для аналізу тематичних наборів даних.

Наявність шаблонів та доопрацьовані можливості дозволяють створювати додатки без програмування. Використання картографічних представлень

забезпечує відображення об'єктів незалежно від формату даних. В ArcGIS можливо зберігання координат з більш високою точністю.

У системі реалізовано значний обсяг функцій для візуалізації та аналізу даних, а також інших застосувань. Однак арсенал інструментарію для роботи з растровим зображенням досить невеликий і представлений модулем Spatial Analyst, в основному операції з двома растрами.

На сьогодні, ArcGIS забезпечує хмарне сховище та додатки для ПК, мобільних пристроїв та веб-клієнтів. У той же час, величезний обсяг різних можливостей та використання великої кількості додаткових модулів перетворює цю платформу на достатньо складне програмне забезпечення.

Фундаментальна архітектура ArcGIS забезпечує її використання у багатьох прикладних сферах і на різних рівнях організації роботи: на персональних комп'ютерах, на серверах, через Web, або у "польових" умовах.

Quantum GIS є геоінформаційною системою з відкритим вихідним кодом, розробленою для вирішення типових задач ГІС. Цей проект Open Source Geospatial Foundation (OSGeo) працює на платформах Linux, Unix, Mac OSX, Windows, Android і підтримує велику кількість векторних та растрових форматів, баз даних.

Quantum GIS має широкі можливості для аналізу та представлення геопросторових даних. Велика кількість інструментів і налаштувань робить QGIS багатофункціональним рішенням для розв'язання широкого спектру задач. Основне призначення системи – робота з растровими та векторними шарами, базами даних, та різними типами даних.

Система підтримує можливість додавання модулів (плагінів) для розширення функціональності, що дозволяє використовувати програму як графічну оболонку з широкими можливостями інтеграції для реалізації необхідних перетворень.

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» виконує геометричне порівняння трикутників обох вхідних поверхонь. Трикутники першої поверхні класифікуються як ті, що знаходяться повністю над або під другою (базовою) поверхнею, або як ті, що перетинаються з нею. При виявленні перетинів трикутники діляться на частини, які класифікуються як розташовані повністю над під другою (базовою) поверхнею або компланарній. Сусідні трикутники та його частини з однаковою класифікацією групуються в полігони, у своїй їх об'ємні характеристики складаються й утворюють підсумкове значення кожного з цих полігонів. Отримані дані записуються у вихідний клас просторових об'єктів полігонів.

Поверхня на основі цієї різниці будується із застосуванням тріангуляції Делоне з обмеженнями та геометричного порівняння двох вхідних поверхонь. Значення  $z$  цієї різницевої поверхні позначають різницю по висоті між двома вхідними поверхнями. Значення  $z$ , рівні 0,0 виникають у тому випадку, коли вхідні поверхні мають збігаються значення. Позитивні значення позначають області, в яких перша поверхня розташована над другою (базовою) поверхнею, а від'ємні – області, в яких перша поверхня розташована під другою.

Якщо потрібний растр різниці, інструмент перетворює триангульовану різницеву поверхню на растр з використанням лінійної інтерполяції [15].

Геометричні трикутники це так звана TIN-модель. Нерегулярні триангуляційні мережі (Triangular Irregular Networks - TIN) є способом цифрового відображення структури поверхні. TIN є формою векторних цифрових географічних даних, які будуються методом триангуляції набору вершин (крапок). Вершини з'єднуються серією ребер і утворюють мережу трикутників [16]. Ребра TIN формують безперервні трикутники, що не перетинаються, які можуть використовуватися для визначення положення лінійних просторових об'єктів, що відіграють важливу роль у побудові поверхонь.

Оскільки вузли можуть розташовуватися на поверхні нерівномірно, TIN може мати більш високу роздільну здатність (resolution) в областях, де поверхня вкрай нерівномірна або потрібна більша деталізація, і більш низька роздільна здатність в областях з однорідною поверхнею.

Вхідні просторові об'єкти, що використовуються для створення TIN, залишаються на тих же місцях, де розміщуються вузли та ребра TIN. Це дозволяє TIN зберегти точність вхідних даних при одночасному моделюванні значень, розташованих між відомими точками. Одиницями вимірювання TIN є фути чи метри, але є й десяткові градуси.

Моделі TIN не так широко доступні, як растрові моделі поверхонь, і, як правило, їх побудова та обробка дещо витратніше. Вартість отримання високоякісних вихідних даних може бути досить високою, а обробка TIN через складність їх структури дещо менш ефективна, ніж обробка растрових даних.

Мережі TIN зазвичай використовуються для моделювання невеликих областей з дуже високою точністю, наприклад, в інженерних додатках, де їх використання дозволяє проводити обчислення планіметричної площі (planimetric area), площі поверхні та об'єму.

Максимально допустимий розмір TIN залежить від вільних безперервних ресурсів пам'яті системи. Незалежно від цього, рекомендується обмежити розмір кількома мільйонами з метою зручності користування та збільшення

продуктивності системи. Великі розміри TIN найкраще реалізуються за допомогою набору даних Terrain.

Оскільки вузли можуть розташовуватися на поверхні нерівномірно, TIN може мати більш високу роздільну здатність (resolution) в областях, де поверхня вкрай нерівномірна або потрібна більша деталізація, і більш низька роздільна здатність в областях з однорідною поверхнею [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 селєвих 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.

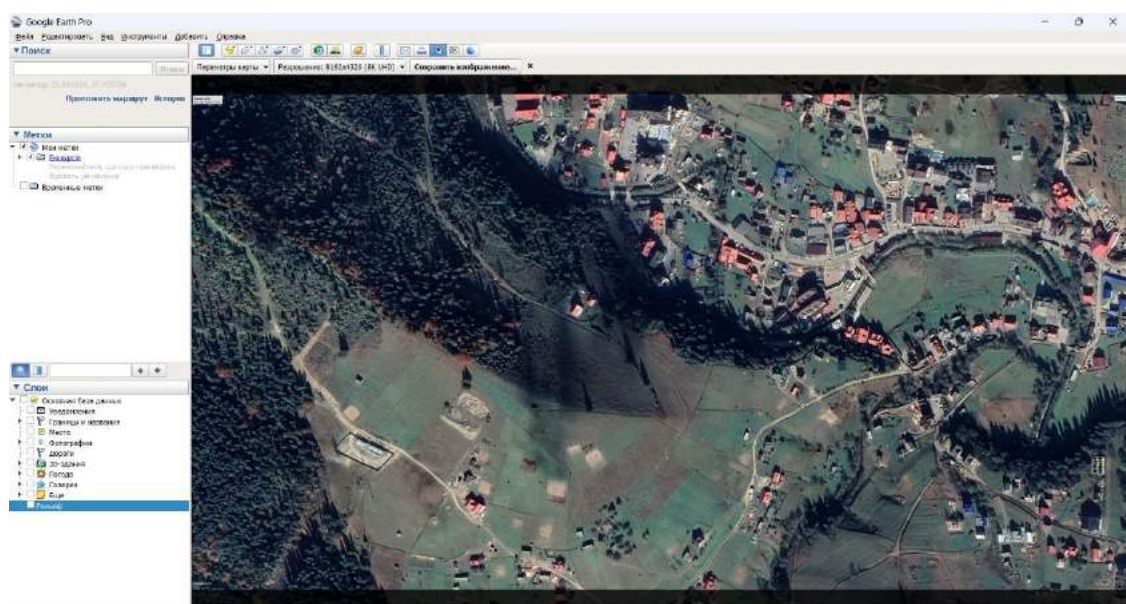


Рисунок 3.1 – Збереження знімків у програмі Google Earth Pro

У програмі Arcstar 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.

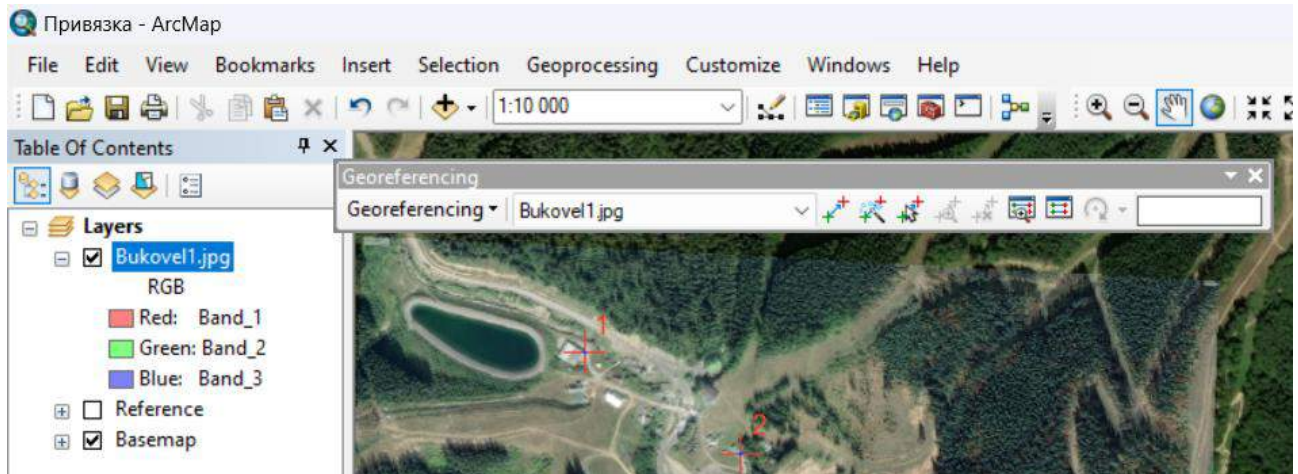


Рисунок 3.2 – Прив'язка знімків у геоінформаційному ПЗ Arcstar 10.8

## 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).



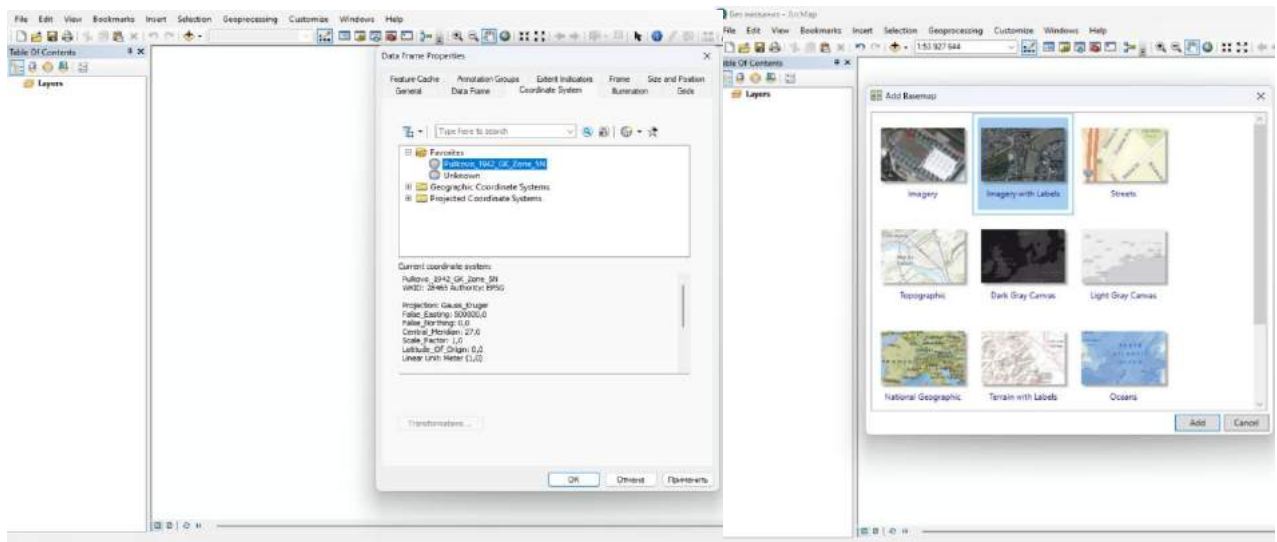


Рисунок 3.3<sup>а</sup> – Створення робочого проєкту у ArcMap 10.8:

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.

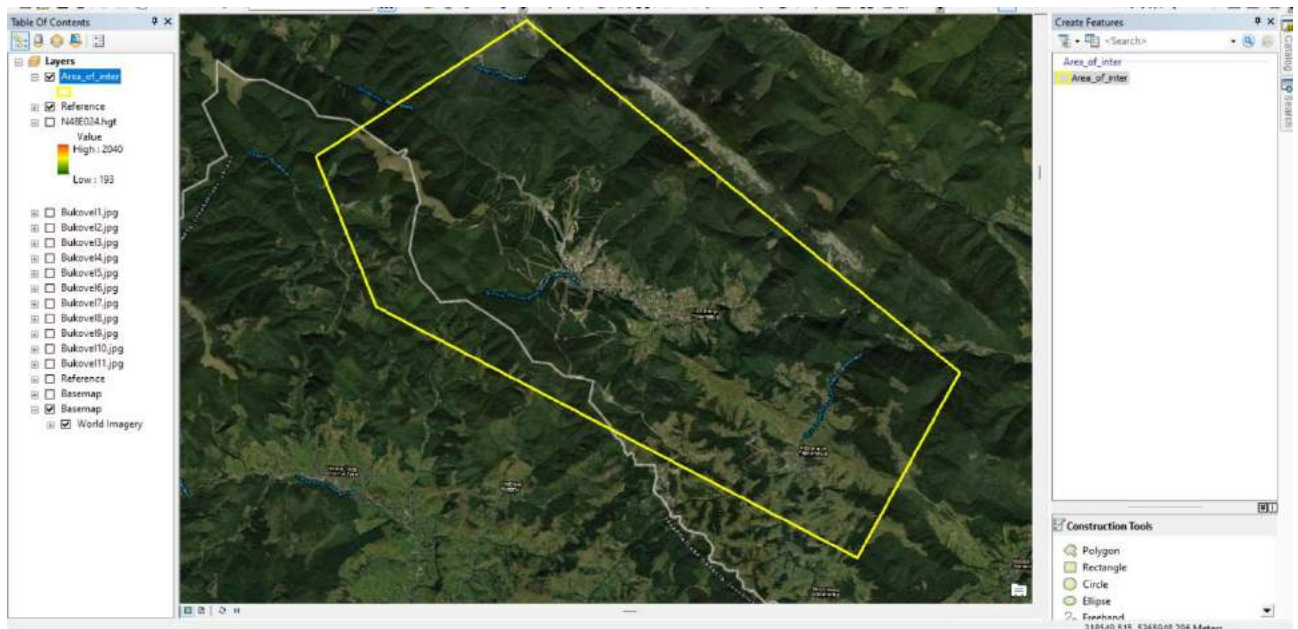


Рисунок 3.4 – Шейп-шар зони інтересу для подальшої обрізки



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

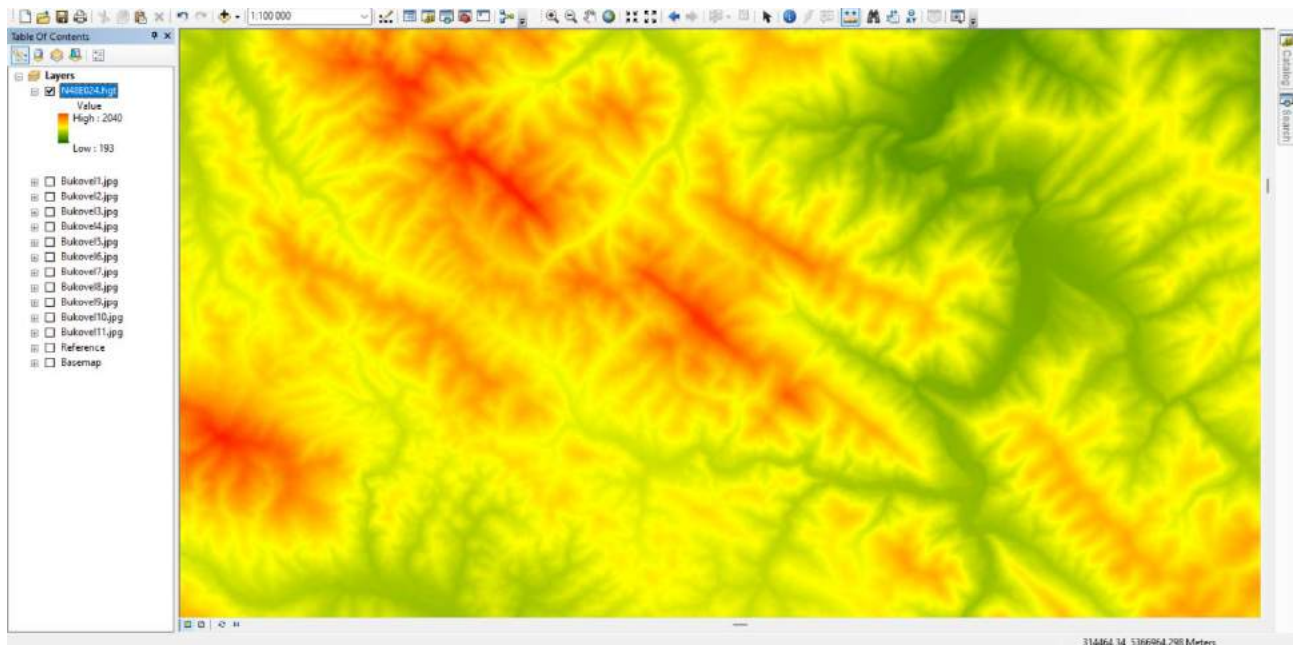


Рисунок 3.5 – Завантаження цифрової моделі рельєфу у ArcMap 10.8

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)

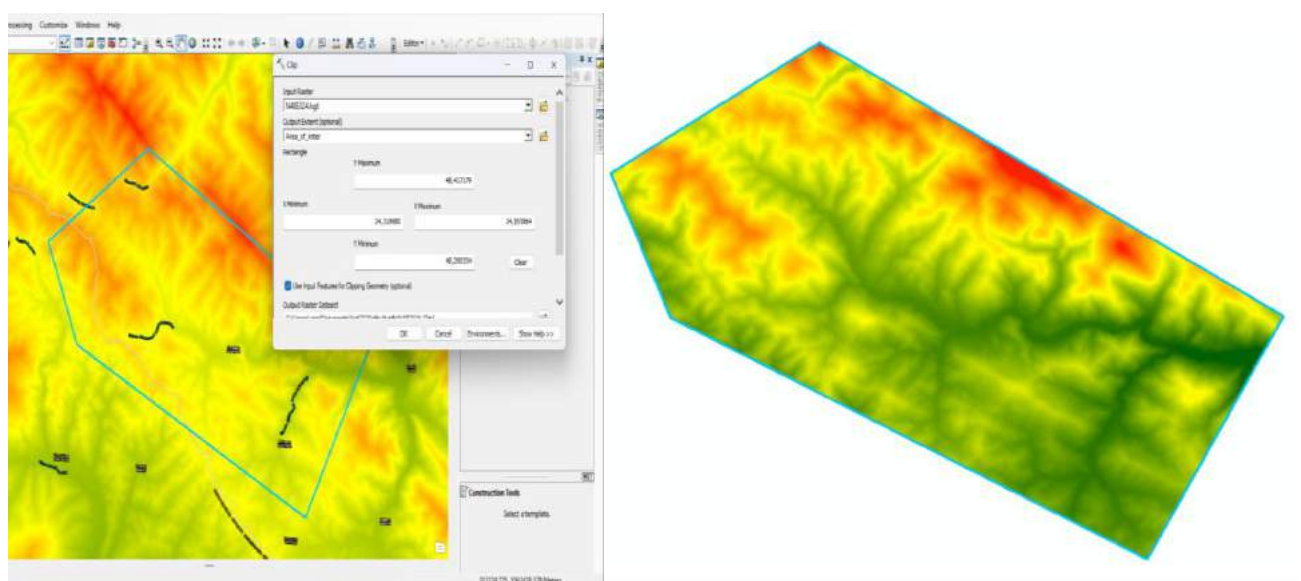


Рисунок 3.6 – Обрізання ЦММ за зоною інтересу

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 проекту

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).

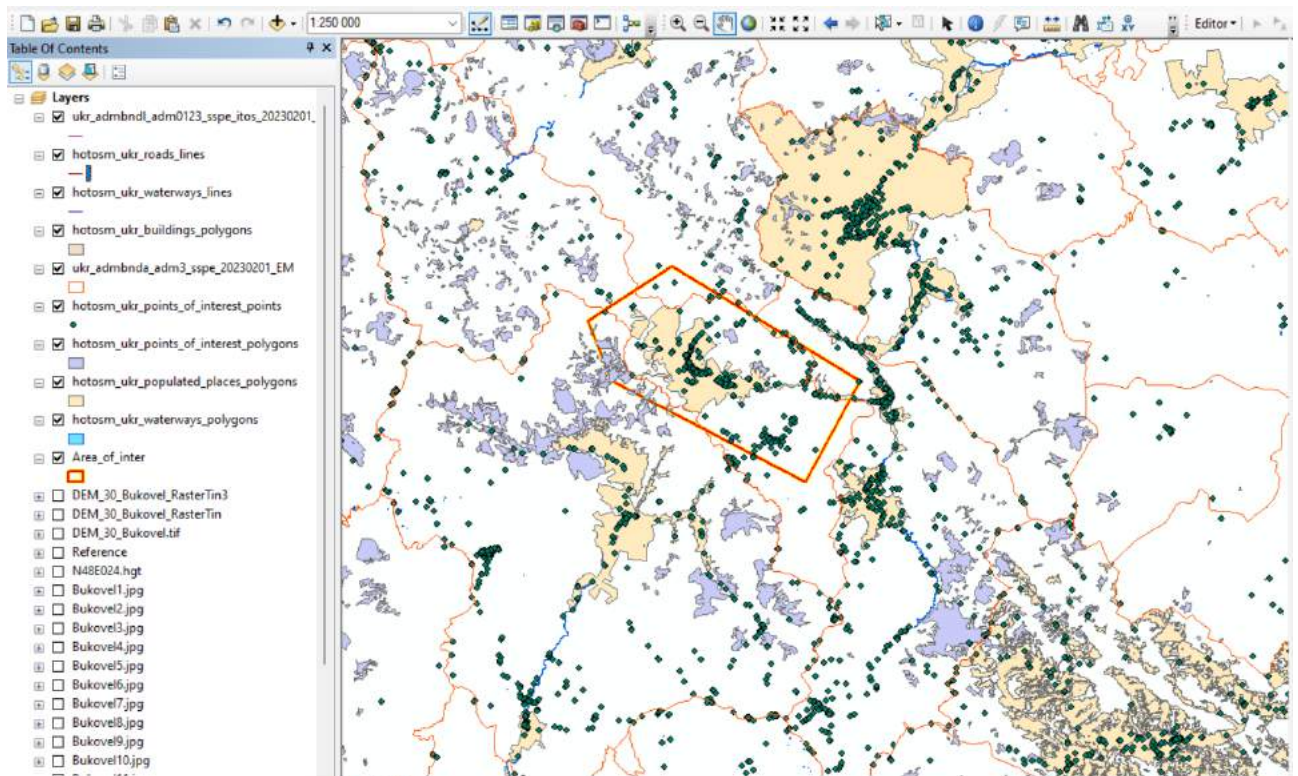


Рисунок 3.7 – Візуалізація тематичних шарів (табл. 3.1) у програмному забезпеченні ArcMap 10.8

У дослідженні проект 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	1. Turism_rayon 2. Building_rayon 3. River_rayon 4. Water_rayon 5. Road_rayon 6. Turism_polygon_rayon 7. Border_city 8. Border_rayon	Географічна система координат GCS_WGS_1984
Растрові шари	1. DEM_30_Bukovel.tif	Географічна система координат GCS_WGS_1984
Авторські шари	1. Area_of_inter.shp (полігональний) 2. Stvori.shp (лінійний) 3. Znimok.jpg (космічний знімок у растровому форматі)	Проекційна система координат: Pulkovo_1942_GK_Zone_5N

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

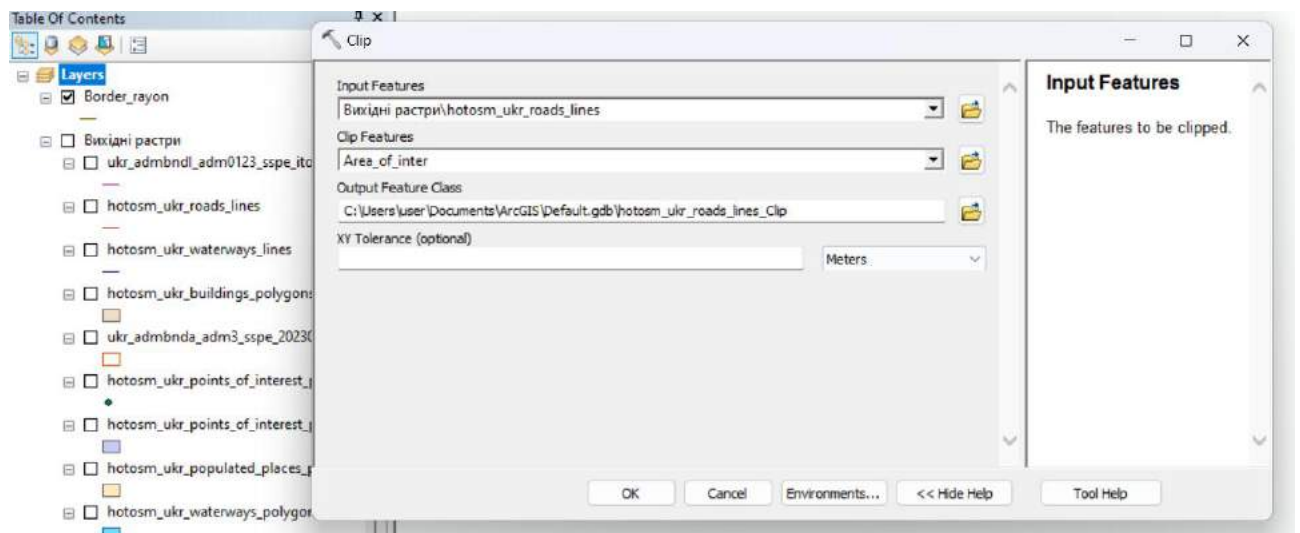


Рисунок 3.8 – Обрізка векторних шарів Big Data по межі зони інтересу

Результат обрізання векторних шарів наведений на рис 3.9.



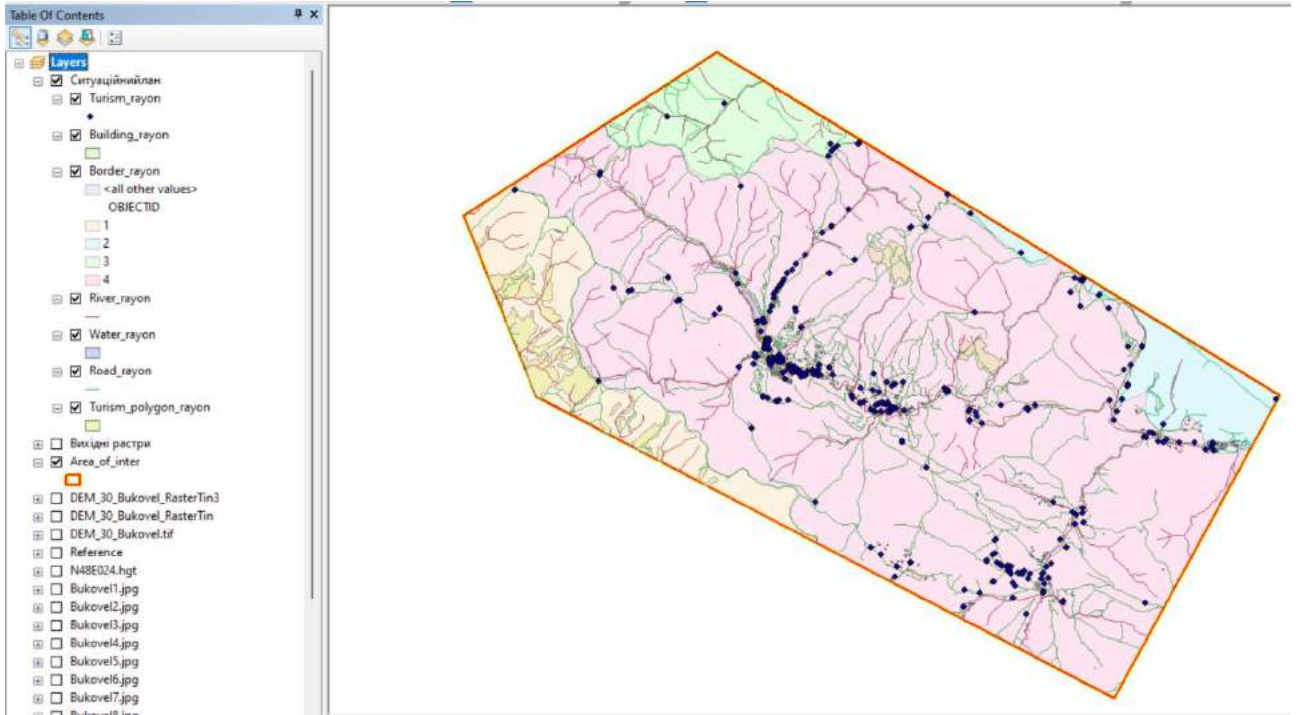


Рисунок 3.9 – Векторні шари зони інтересу

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

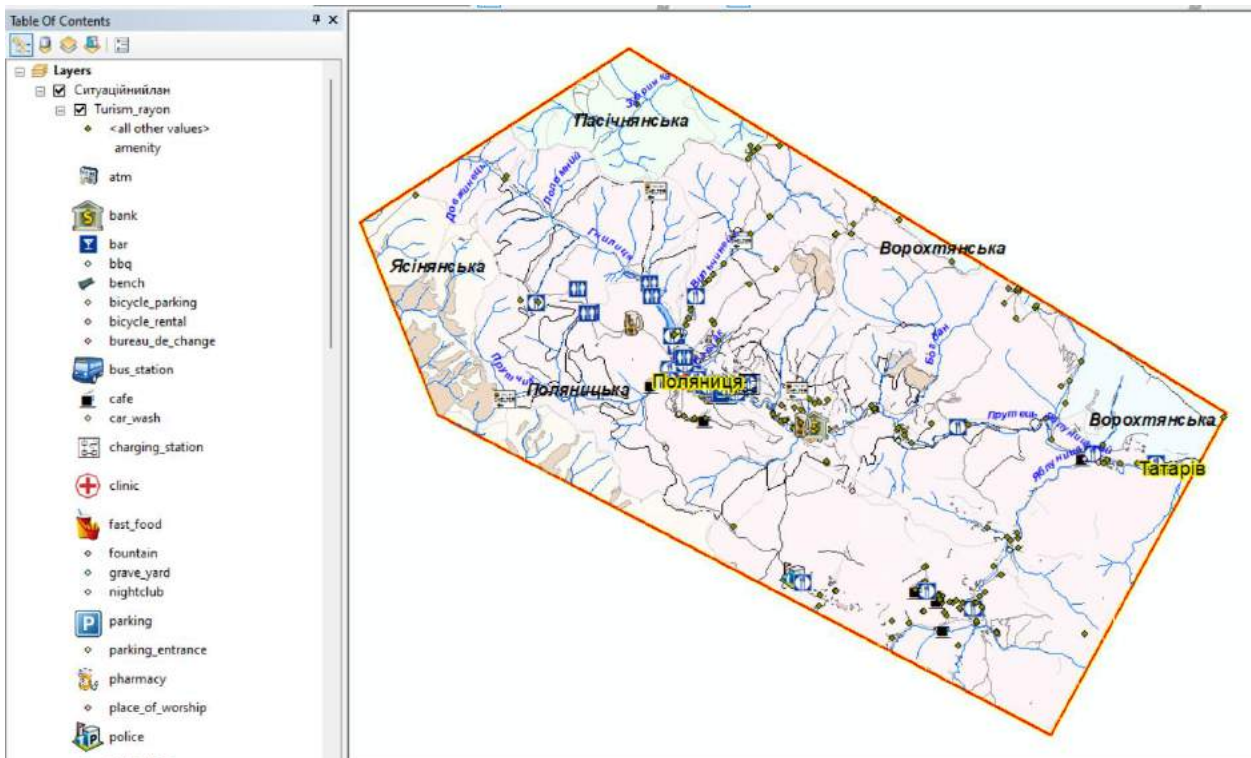
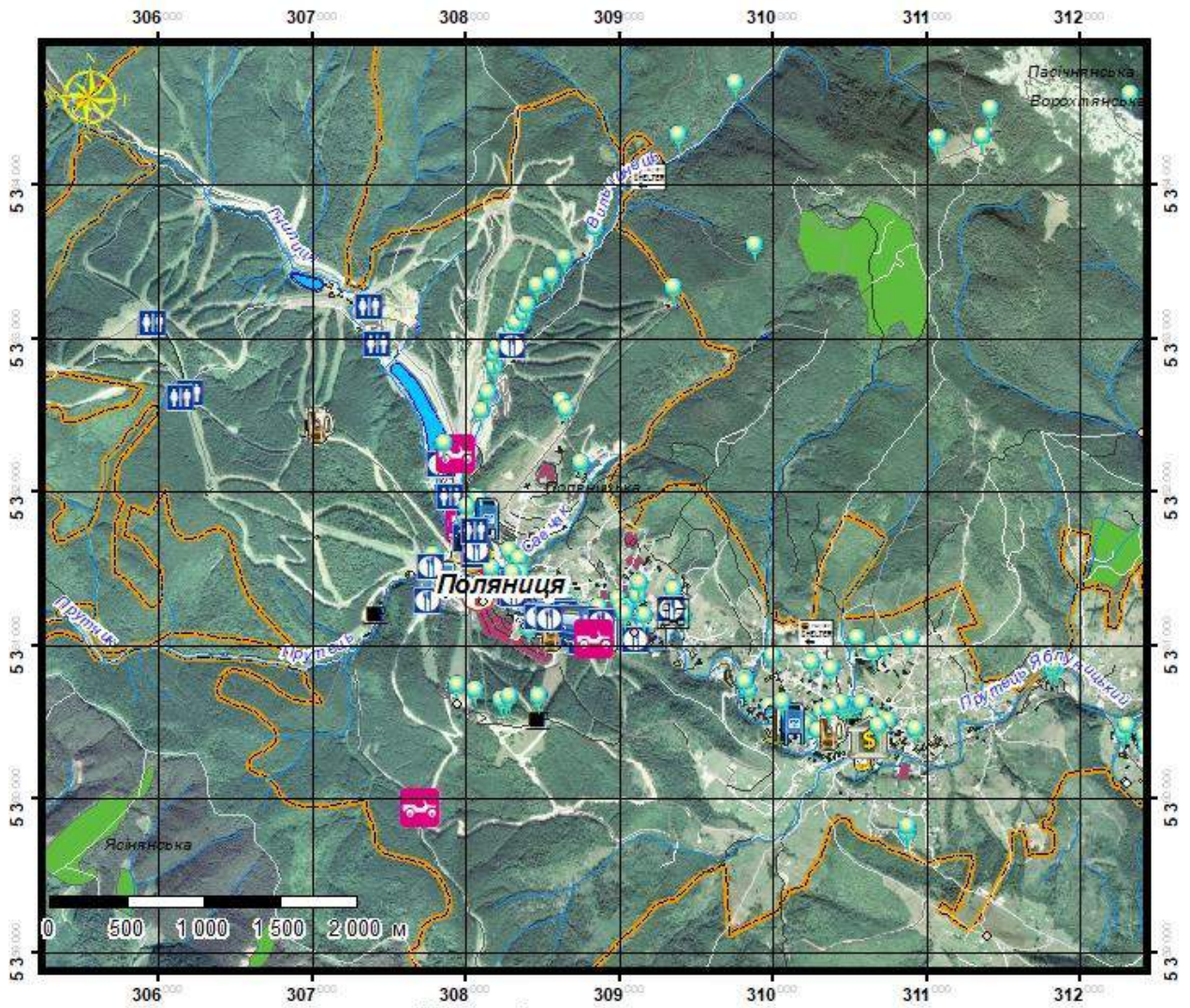


Рисунок 3.10 – Налаштовані векторні тематичні шари



### 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

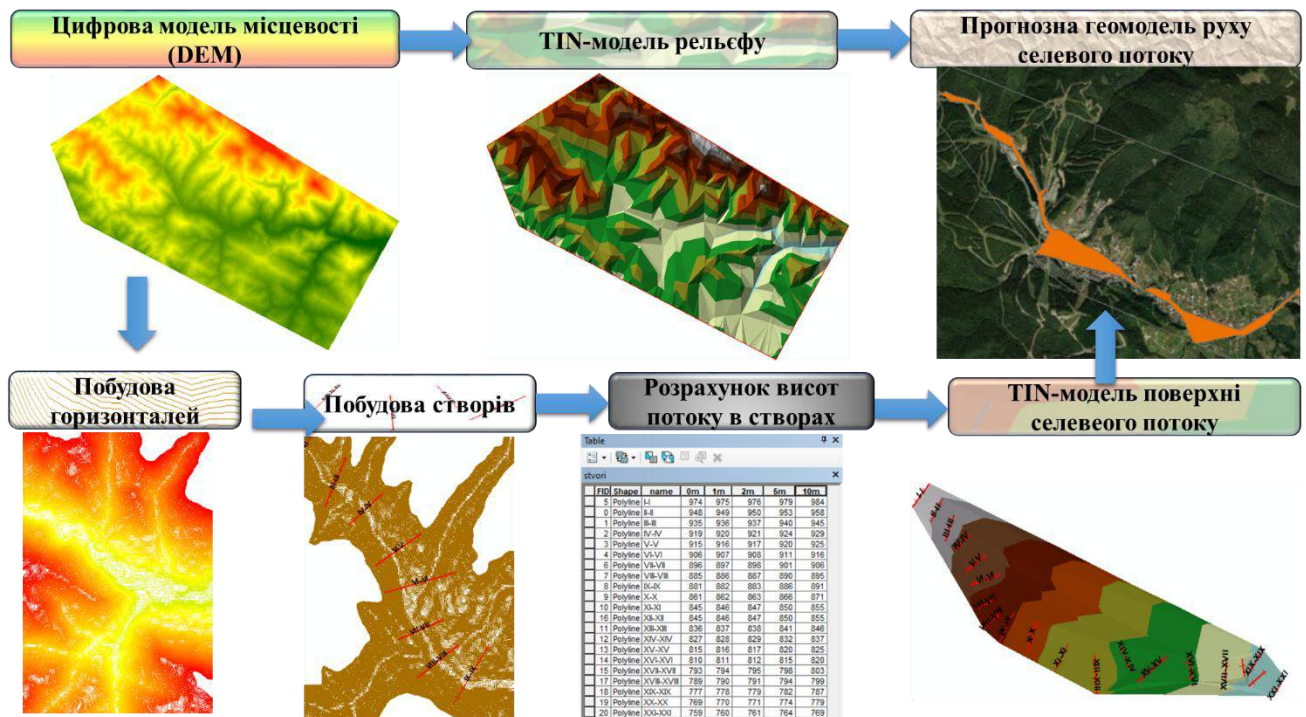


Рисунок 3.12 – Схема побудови геомоделі руху селевого потоку

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).



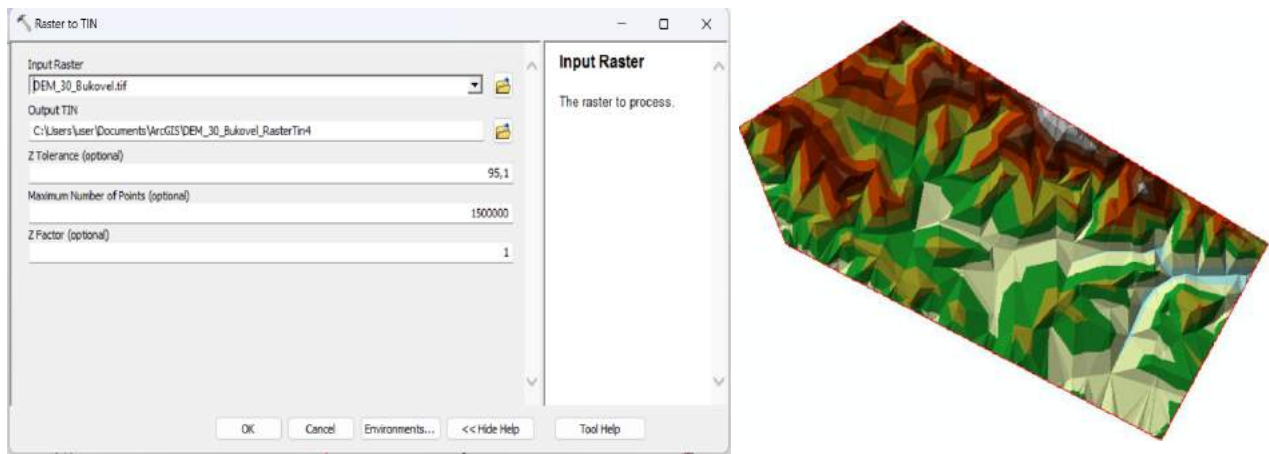


Рисунок 3.13 – Створення TIN-модель рельєфу за допомогою інструменту «Raster to TIN»

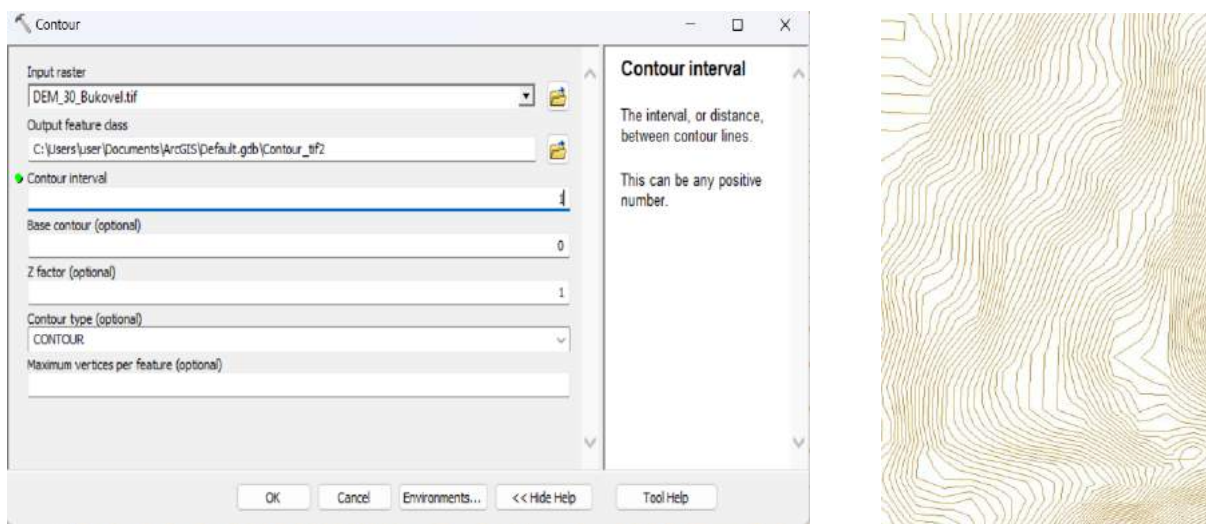


Рисунок 3.14 – Побудова горизонталей за допомогою інструменту «Contour»

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).



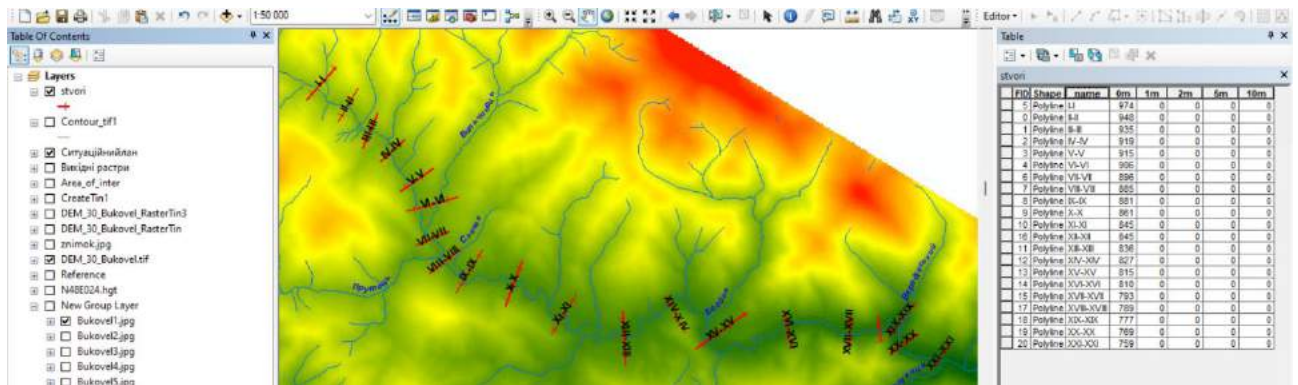


Рисунок 3.15 – Шейп-шар зі створами та атрибутивна інформація шару

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	863	864	865	868	868
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.

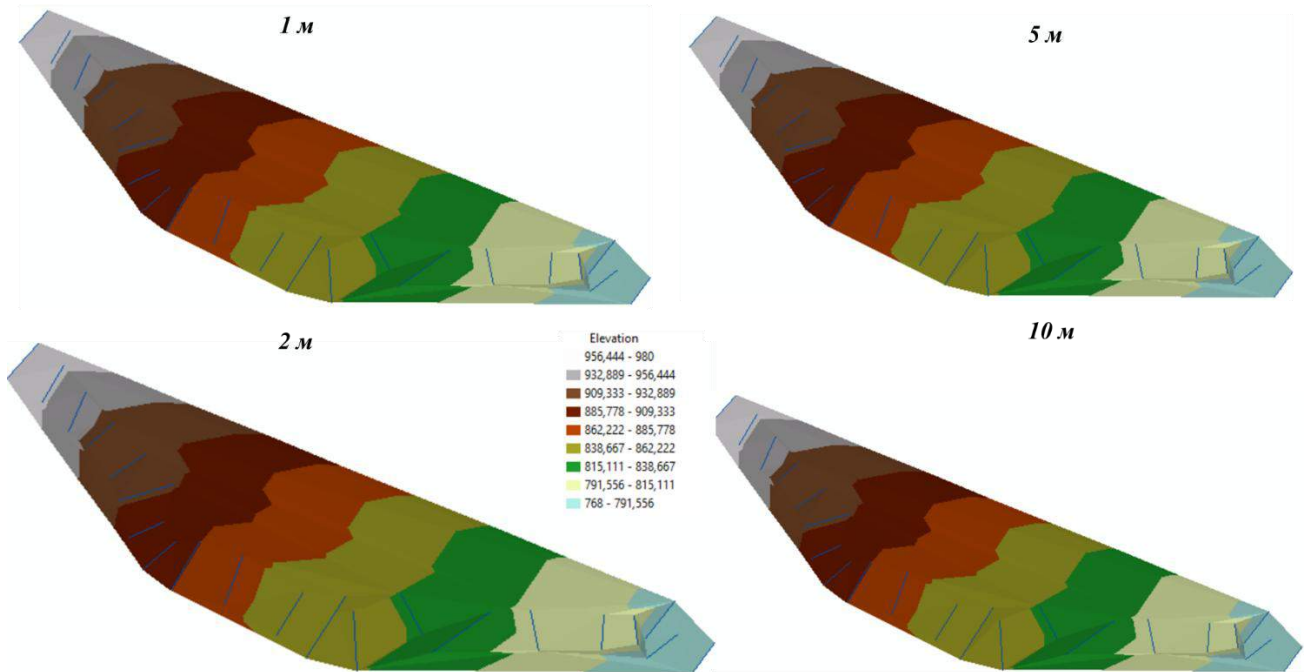


Рисунок 3. 17 - TIN-моделі поверхні селевого потоку при різних його висотах

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

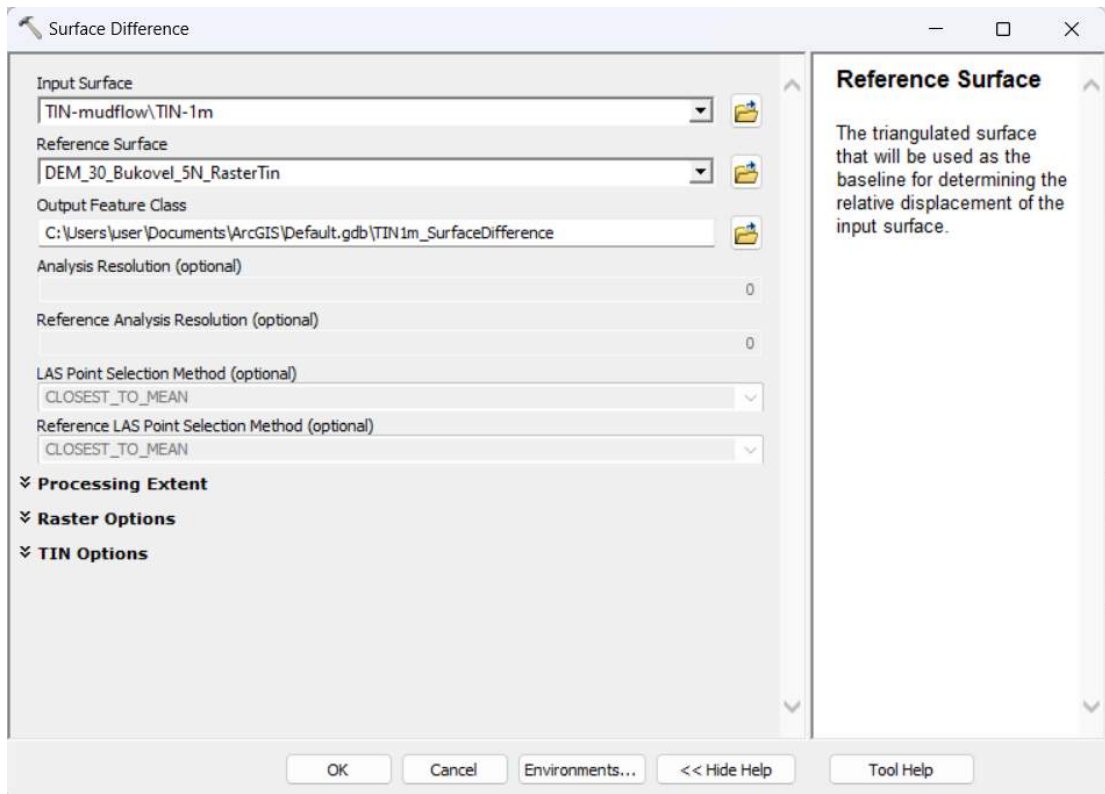


Рисунок 3.18 - Інструмент «Surface Difference»

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

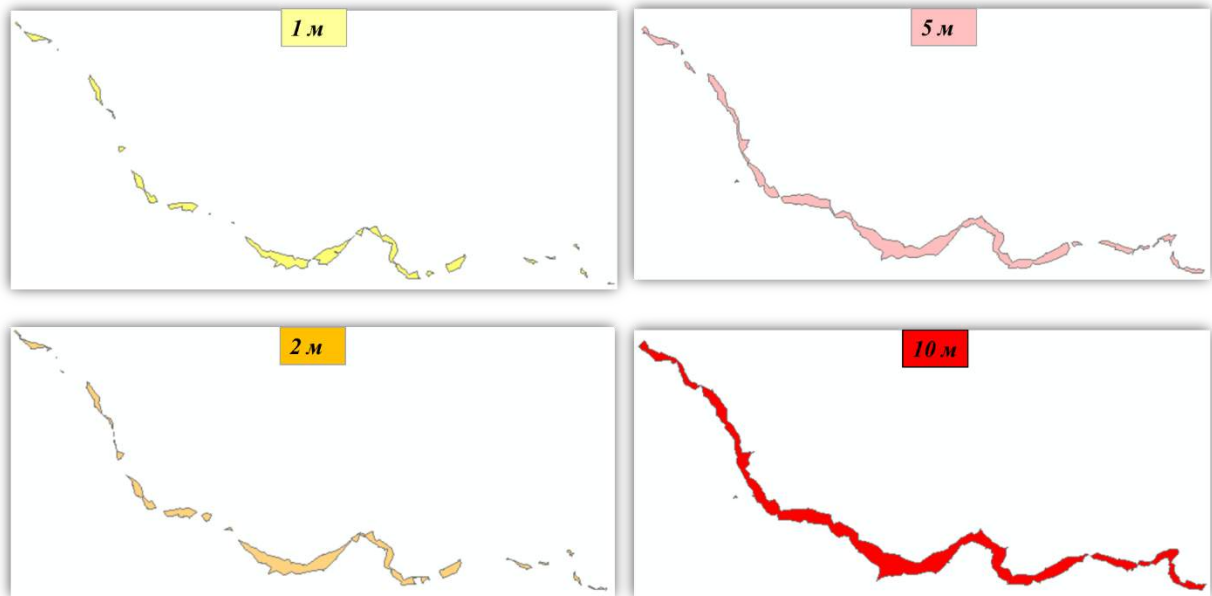


Рисунок 3.19 – Зони ймовірного розповсюдження селевих потоків

### 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

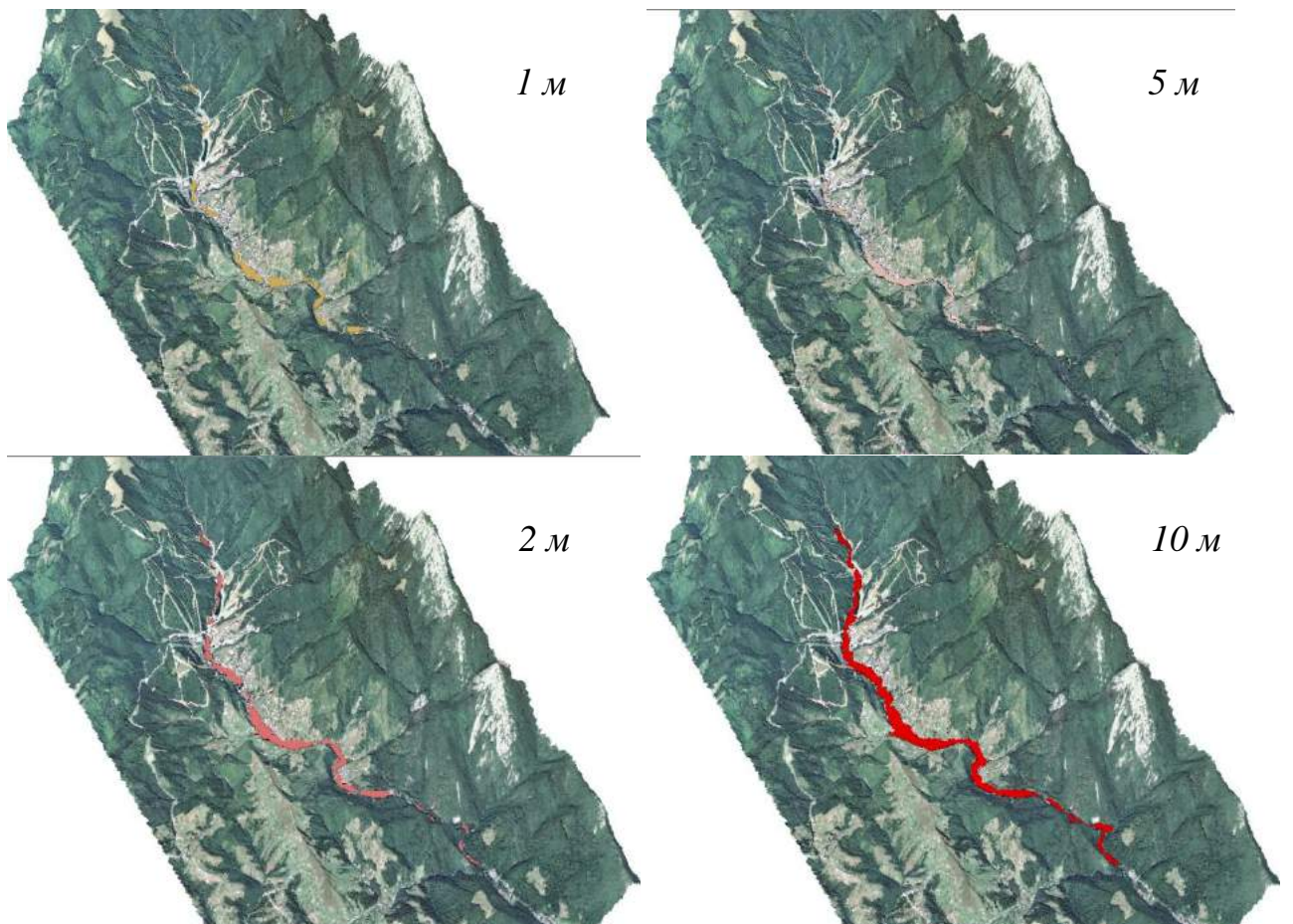


Рисунок 3.21 – 3Д-моделі розповсюдження селевого потоку

### 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.

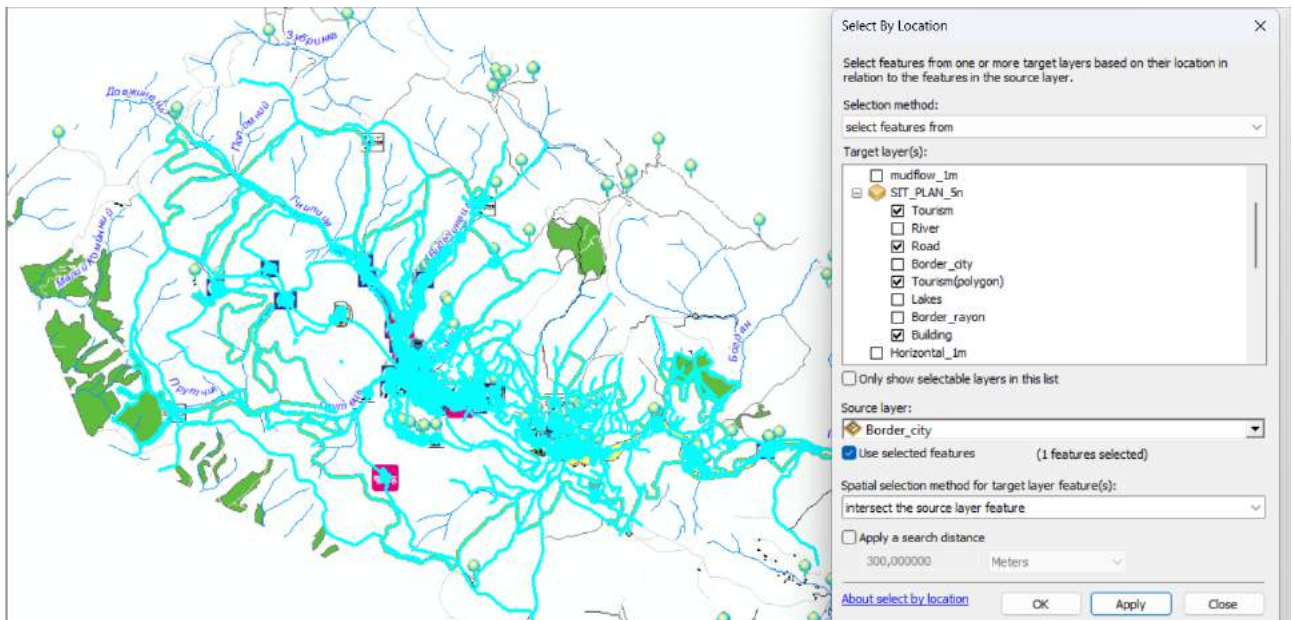


Рисунок 3.22– Виділення усіх об'єктів у с. Поляниця по її межі

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 <sup>2</sup>	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;

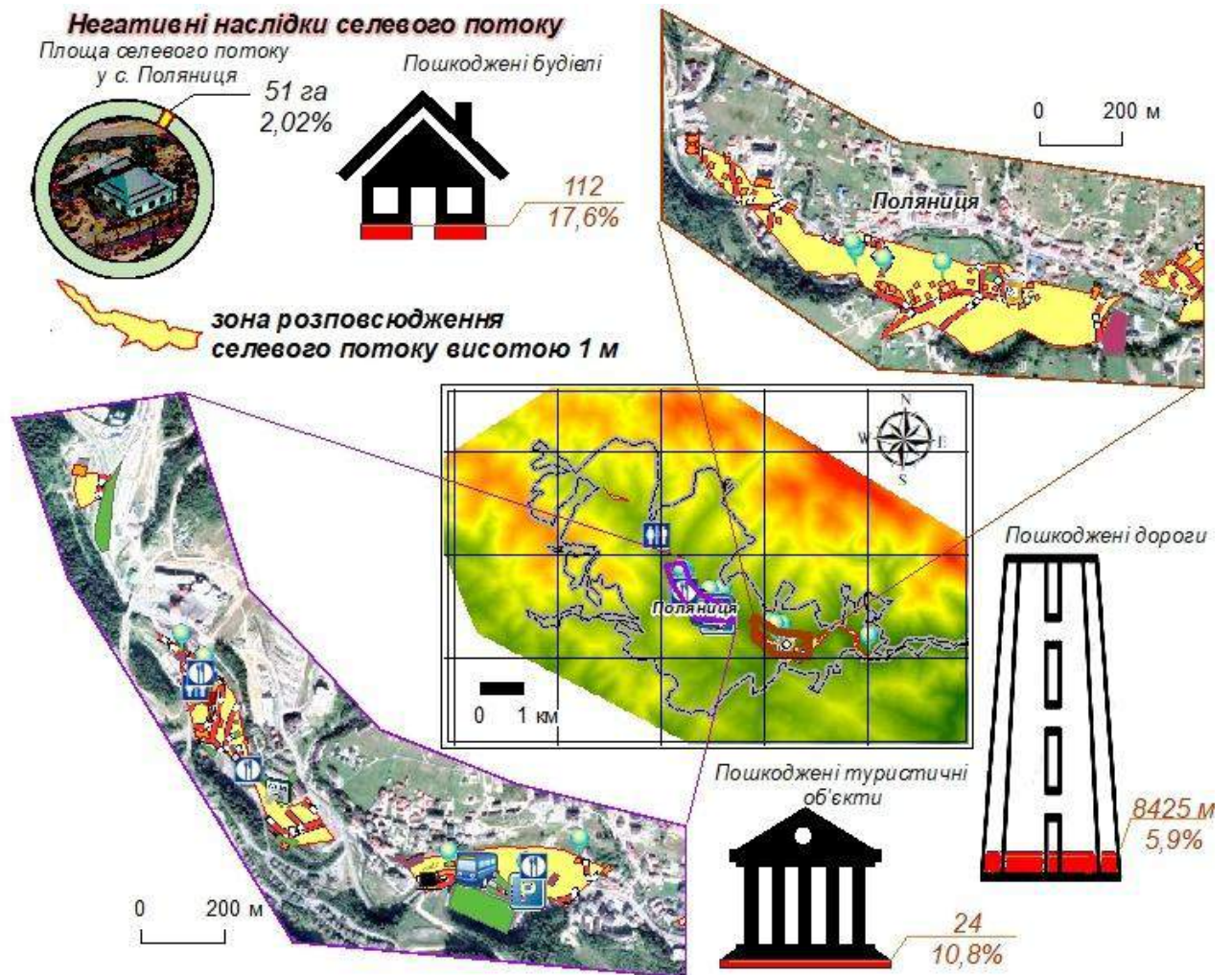
– 5 м – 54 житлових будинків, 20 готелів, 8 ресторанів, 1 поштове відділення, 1 автостанція, 40 туристичних об'єктів та 20,6 км доріг;

– 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 селєвих потоків з можливістю їх якісної візуалізації та кількісної оцінки.

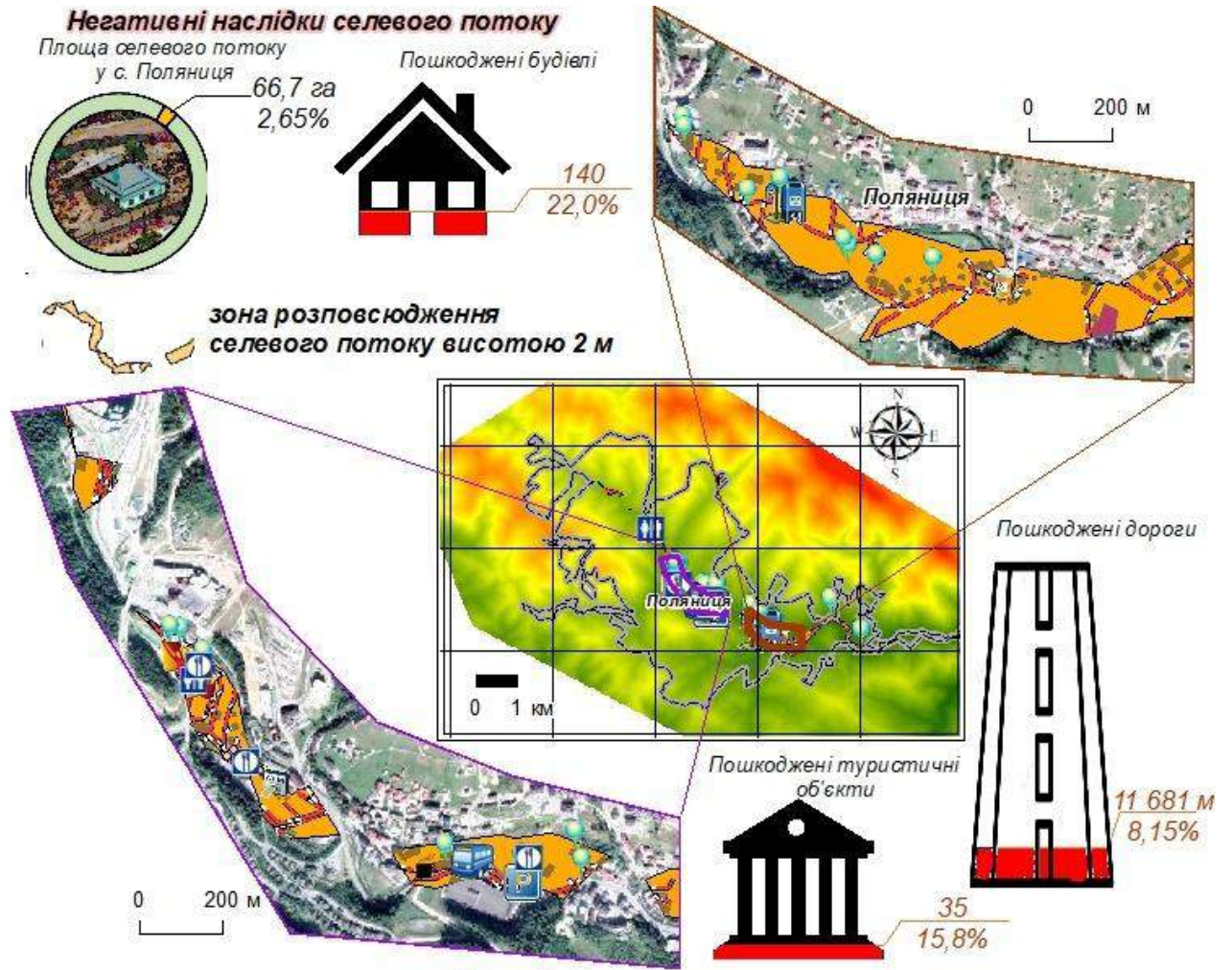




**Умовні позначення:**

- |                            |                                     |                    |
|----------------------------|-------------------------------------|--------------------|
| межі нас. пункту;          | <i>Туристичні об'єкти</i>           |                    |
| будівлі;                   | банкомати;                          | пошта;             |
| <b>Туристичні ділянки:</b> | банки;                              | паби;              |
| альпіністське снаряження;  | бари;                               | ресторани;         |
| атракціони;                | автовокзал;                         | притуки;           |
| 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:**

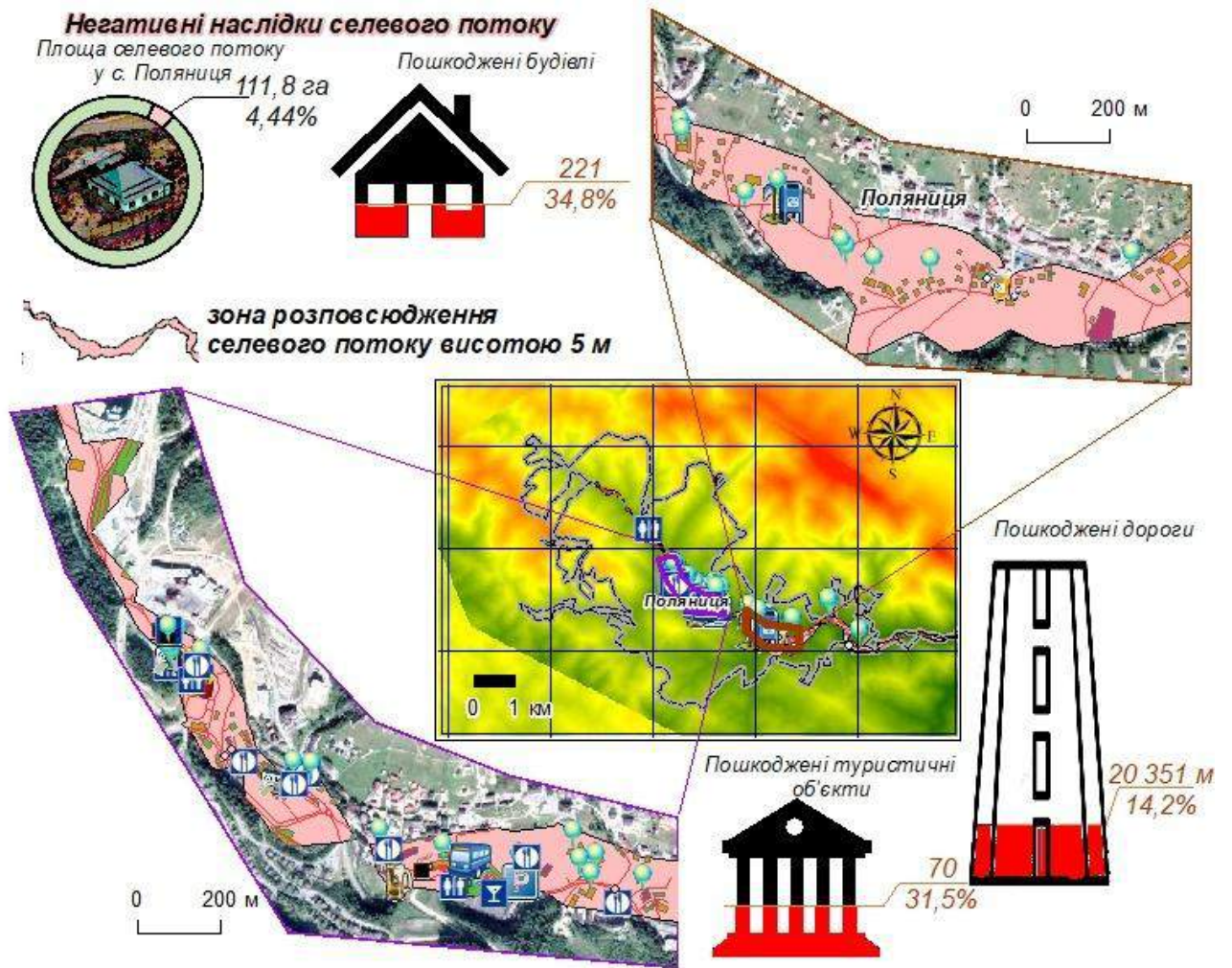
- межі нас. пункту;
- будівлі;
- Туристичні ділянки:**
  - альпіністське спорядження;
  - атракціони;
  - шале
  - гостьові дома;
  - хостел
  - готель
  - інфо;
  - зони пікніку
  - будинок лісника

**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





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

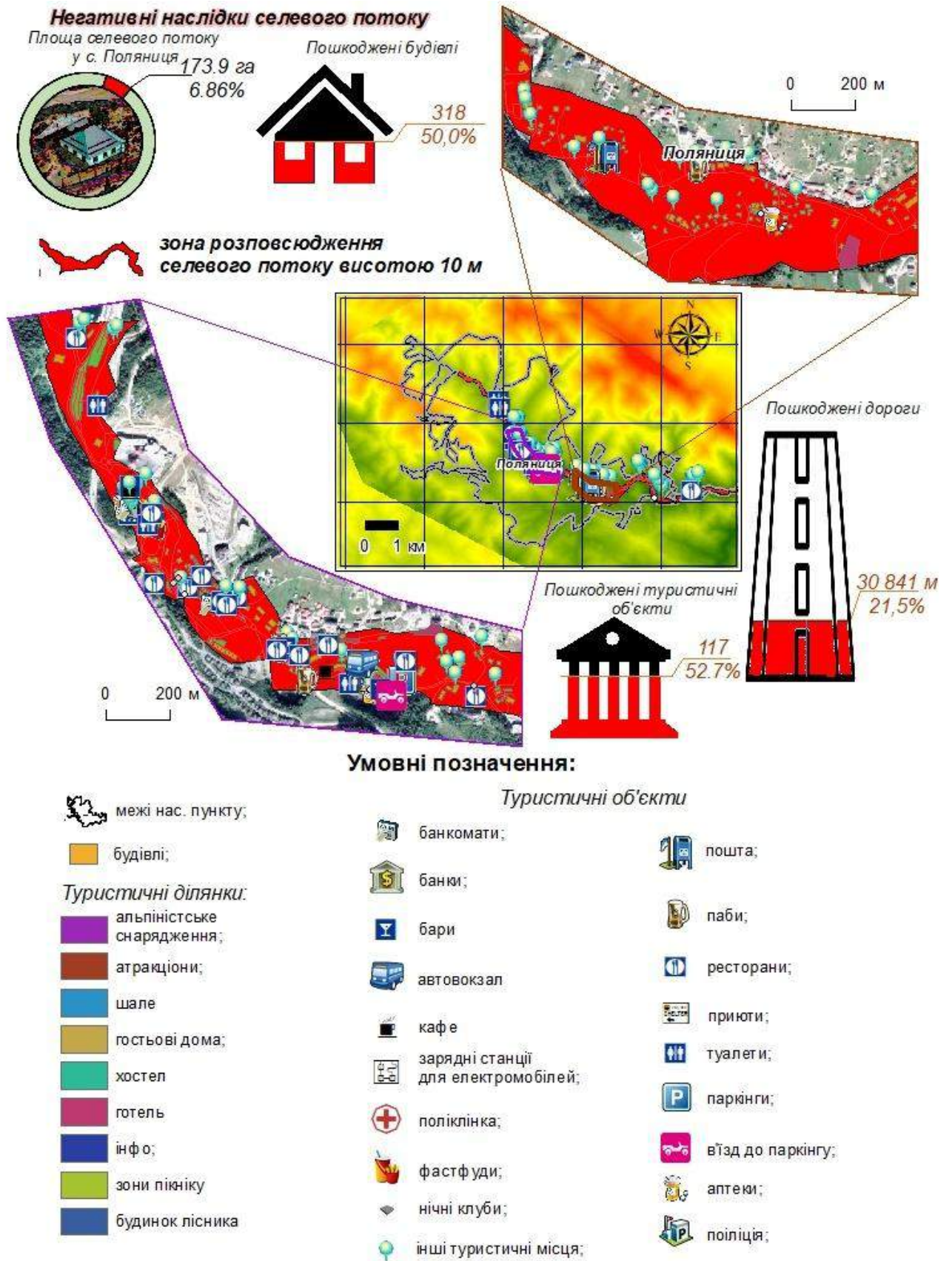


Рисунок 3.26 – Прогнозна карта негативних наслідків селевих потоків висотою 10 м у с. Поляниця

## 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/Vnuvgp\\_tekhn\\_2016\\_1\\_5](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vnuvgp_tekhn_2016_1_5).
7. Шудренко І. В. Цивільний захист : навч. посіб. Житомир. Житомирський національний агроєкологічний 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> (дата звернення: 02.11.2023).
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](http://nbuv.gov.ua/UJRN/geod_2014_1_14)

11. Замай В.І. Дослідження прогнозного фону паводкової і селевої небезпеки на основі даних моніторингу надзвичайної події. Проблеми автоматики і управління. Бішкек. Ілім. 2008. С. 97-103.

12. Сусідко М.М., Лук'янець О.І. Методичні засади ймовірнісного прогнозування сільових 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-surface-difference-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-tin-surfaces.htm> (date of access: 04.01.2024).

17. 1 мільйон 600 тисяч туристів відвідали ТК "Буковель" за зимовий сезон 2015/2016 | Курс. Курс. URL: [https://kurs.if.ua/news/1\\_milyon\\_600\\_tysyach\\_turystiv\\_vidvidaly\\_tk\\_bukovel\\_za\\_zy\\_movyyu\\_sezon\\_20152016\\_37515.html/](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. URL:

[https://www.meteoblue.com/uk/weather/historyclimate/climatemodelled/Bukovel\\_48.352N24.404E1032\\_Europe/Kiev](https://www.meteoblue.com/uk/weather/historyclimate/climatemodelled/Bukovel_48.352N24.404E1032_Europe/Kiev) (дата звернення: 18.12.2023).

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> (date of access: 29.12.2023).

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/> (date of access: 02.01.2024).

22. EARTHDATASEARCH. URL: <https://search.earthdata.nasa.gov/search/> (date of access: 02.01.2024).

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> (дата звернення: 09.01.2024).

24. Ukraine Waterways (OpenStreetMap Export) - Humanitarian Data Exchange. Welcome - Humanitarian Data Exchange. URL: [https://data.humdata.org/dataset/hotosm\\_ukr\\_waterways](https://data.humdata.org/dataset/hotosm_ukr_waterways) (date of access: 03.01.2024).

# ДОДАТОК А

## Прогнозування негативних наслідків селевих потоків з використанням ГІС технологій

Виконавець *Баранов М.В.*

Керівник к.т.н., доц. *Горелик С.І.*

### Актуальність роботи:

Селеві потоки є одним з найнебезпечніших геологічних процесів, які призводять до численних руйнувань та загибелі людей і тварин. Так, селевий потік, який трапився 3 липня 2023 р у Японії призвів до загибелі близько 100 людей та численним руйнуціям у м. Атами.

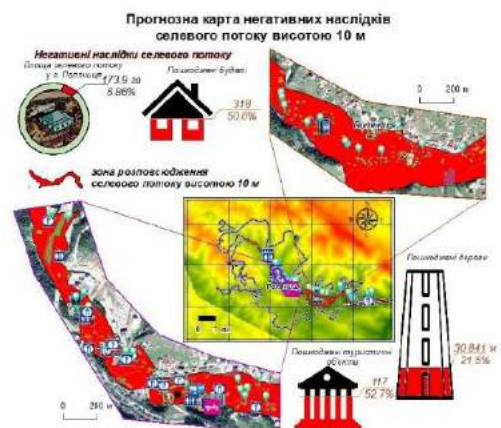
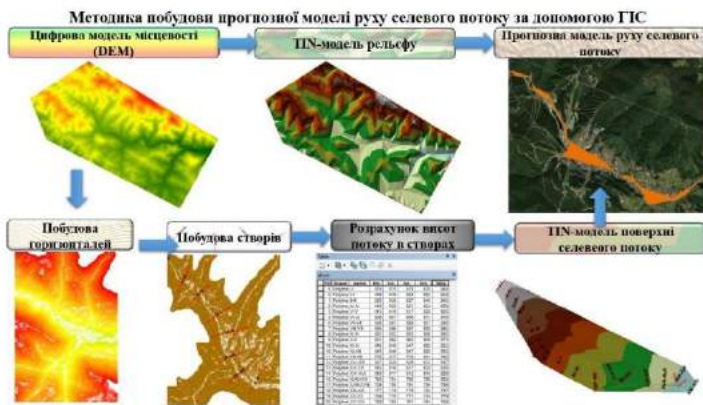
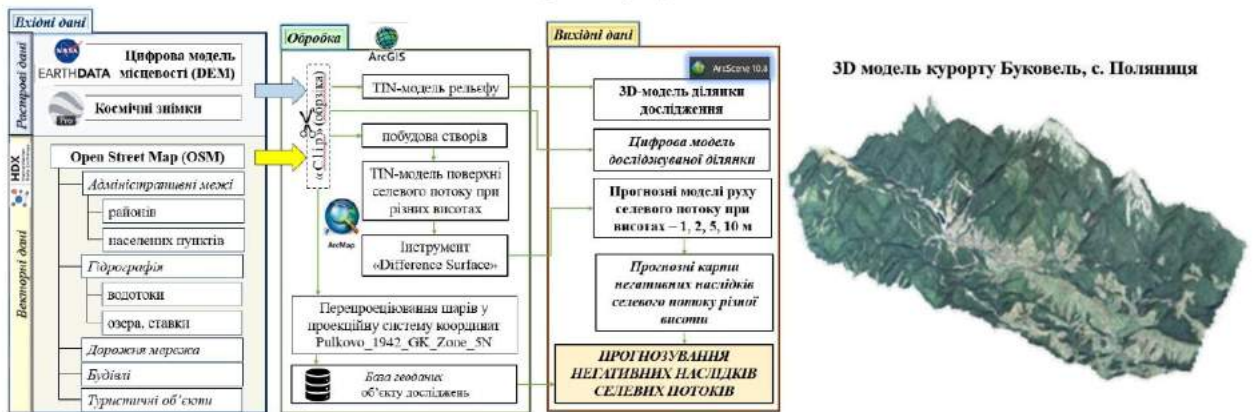
### Мета роботи:

підвищення ефективності прогнозування негативних наслідків від сходження селевих потоків за рахунок комплексного використання контактних та дистанційних даних

### Завдання:

1. Проаналізувати сучасні можливості прогнозування виникнення селевих потоків та оцінки їх наслідків
2. Проаналізувати наявні контактні і дистанційні дані та методики їх обробки.
3. Розробити методику прогнозування розповсюдження селевого потоку при його різній висоті за рахунок використання геоінформаційних систем і технологій.
4. Практична реалізація розробленої методики на прикладі курорту Буковель, с. Поляниця (Івано-Франківська обл.)

### Отримані результати:



### Негативні наслідки від селевих потоків різної висоти





Національний аерокосмічний університет ім. М.С. Жуковського  
«Харківський авіаційний інститут»  
Факультет ракетно-космічної техніки  
Кафедра геоінформаційних технологій та космічного моніторингу Землі

кваліфікаційна робота магістра

спеціальність 193 «Геодезія та землеустрій»  
освітня програма «Геоінформаційні системи та технології»

ДОДАТОК Б

## **Прогнозування негативних наслідків селевих потоків з використанням ГІС технологій**

Виконав: студент групи 462м  
Баранов М.В.  
Керівник: к.т.н., доцент, зав. каф. 407  
Горелик С.І.

Харків - 2024



### **Актуальність роботи**

Селеві потоки є одним з найнебезпечніших геологічних процесів, які призводять до численних руйнувань та загибелі людей і тварин. Так, селевий потік, який трапився 3 липня 2023 р у Японії призвів до загибелі близько 100 людей та численним руйнаціям у м. Атамі



*селевий потік у Японії (03.07.2021) та його наслідки  
(взято з YouTube)*

**МЕТА РОБОТИ** – підвищення ефективності прогнозування негативних наслідків від сходження селевих потоків за рахунок комплексного використання контактних та дистанційних даних.

**ОБ'ЄКТ ДОСЛІДЖЕННЯ:** процеси побудови моделей руху селевих потоків з використанням ГІС технологій

**ПРЕДМЕТ ДОСЛІДЖЕННЯ:** методика прогнозування негативних наслідків селевих потоків з використанням ГІС технологій

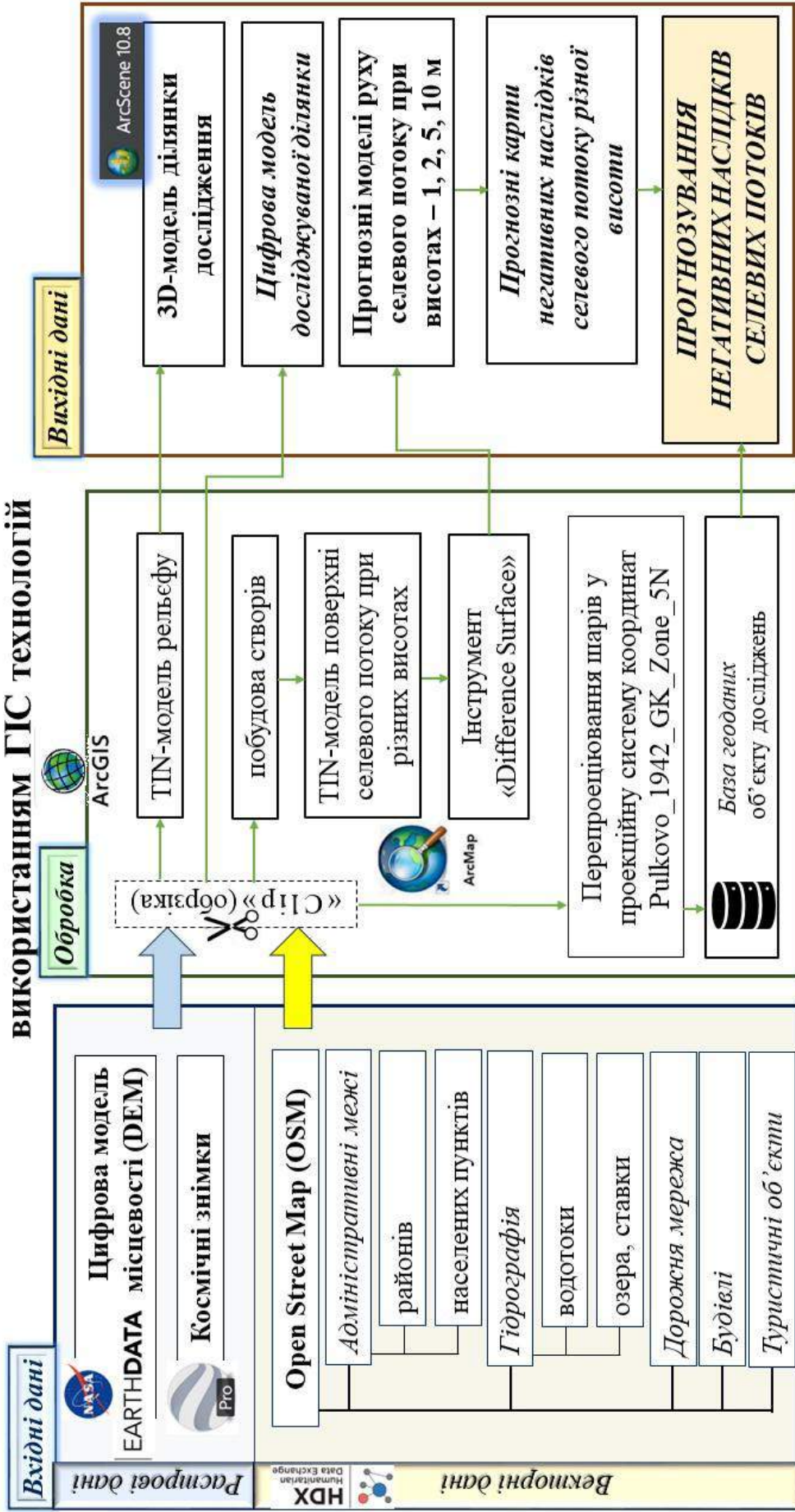
#### **ЗАВДАННЯ:**

1. Проаналізувати сучасні можливості прогнозування виникнення селевих потоків та оцінки їх наслідків
2. Проаналізувати наявні контактні і дистанційні дані та методи їх обробки.
3. Розробити методику прогнозування розповсюдження селевого потоку при його різній висоті за рахунок використання геоінформаційних систем і технологій.
4. Практична реалізація розробленої методики на прикладі курорту Буковель, с. Поляниця (Івано-Франківська обл.)

**3**

# Структурна схема методики прогнозування негативних наслідків селевих потоків 3

## використанням ГІС технологій

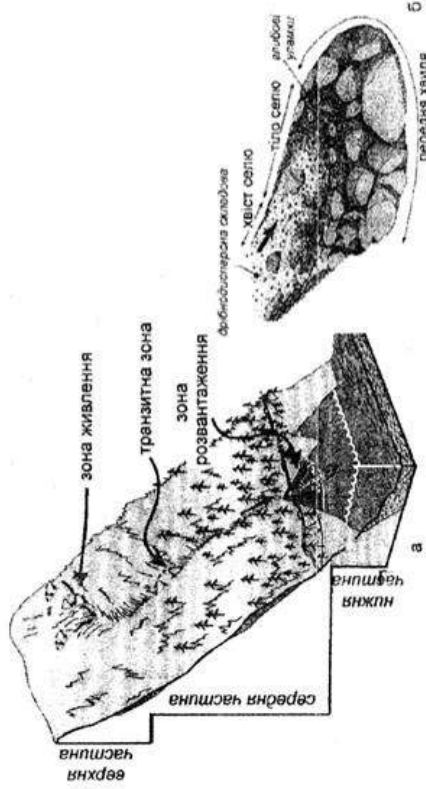




## Поняття про селеві потоки. Фактори виникнення.

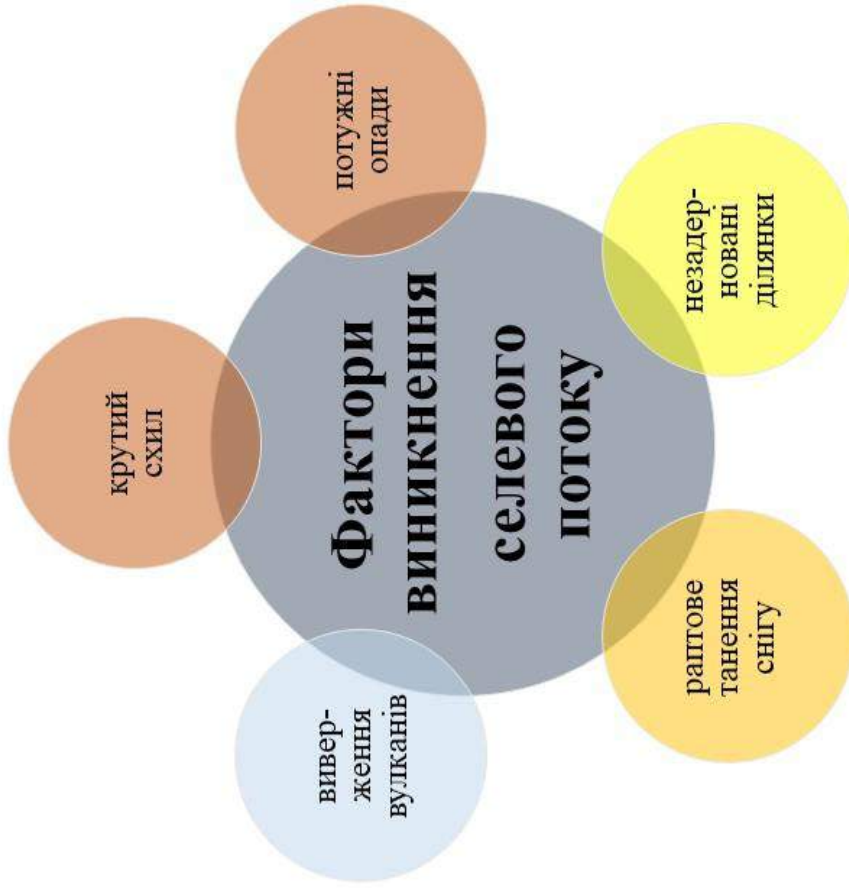
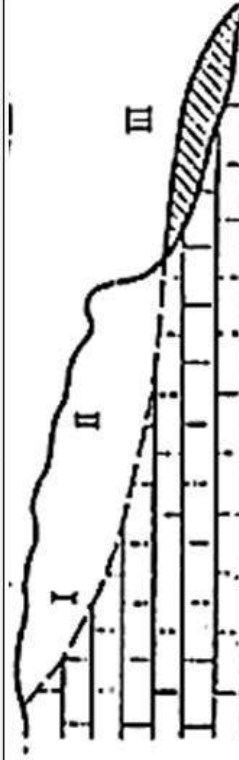
**Селями** чи **селевими потоками** називають стрімкі руслові потоки, що складаються із суміші води та уламків гірських порід, що раптово виникають у басейнах невеликих гірських річок.

### Будова й зони руху селевого потоку



### Продольний профіль селевого потоку:

I – ділянка формування селю (водозбірний басейн);  
II – зона транзиту; III – зона акумуляції.



# Вхідні дані методики та програмне забезпечення

космічні знімки високої роздільної здатності

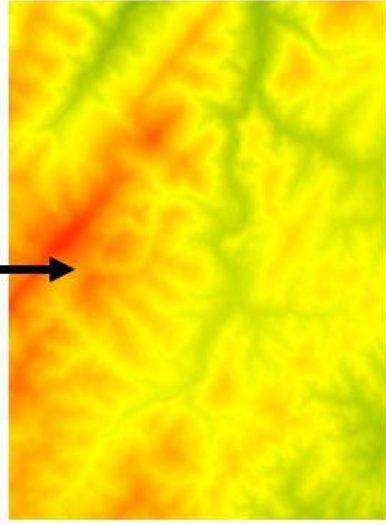


Архівні знімки з ArcGIS Pro

цифрова модель рельєфу - DEM



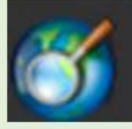
Геопортал EarthDATA



Геоінформаційне програмне забезпечення



ArcGIS

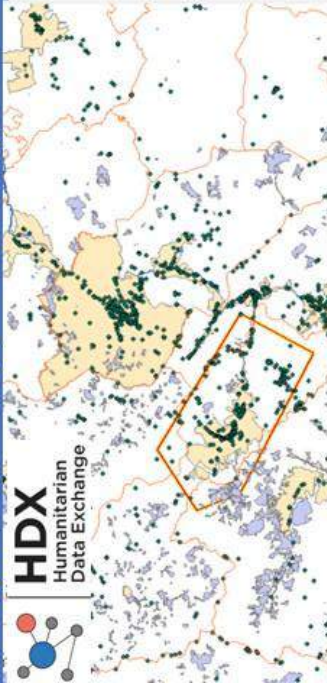


Arcstar 10.8



Arcscene 10.8

векторні дані OSM (Open Street Map).





## Цифрова карта курорту Буковель, с. Поляниця

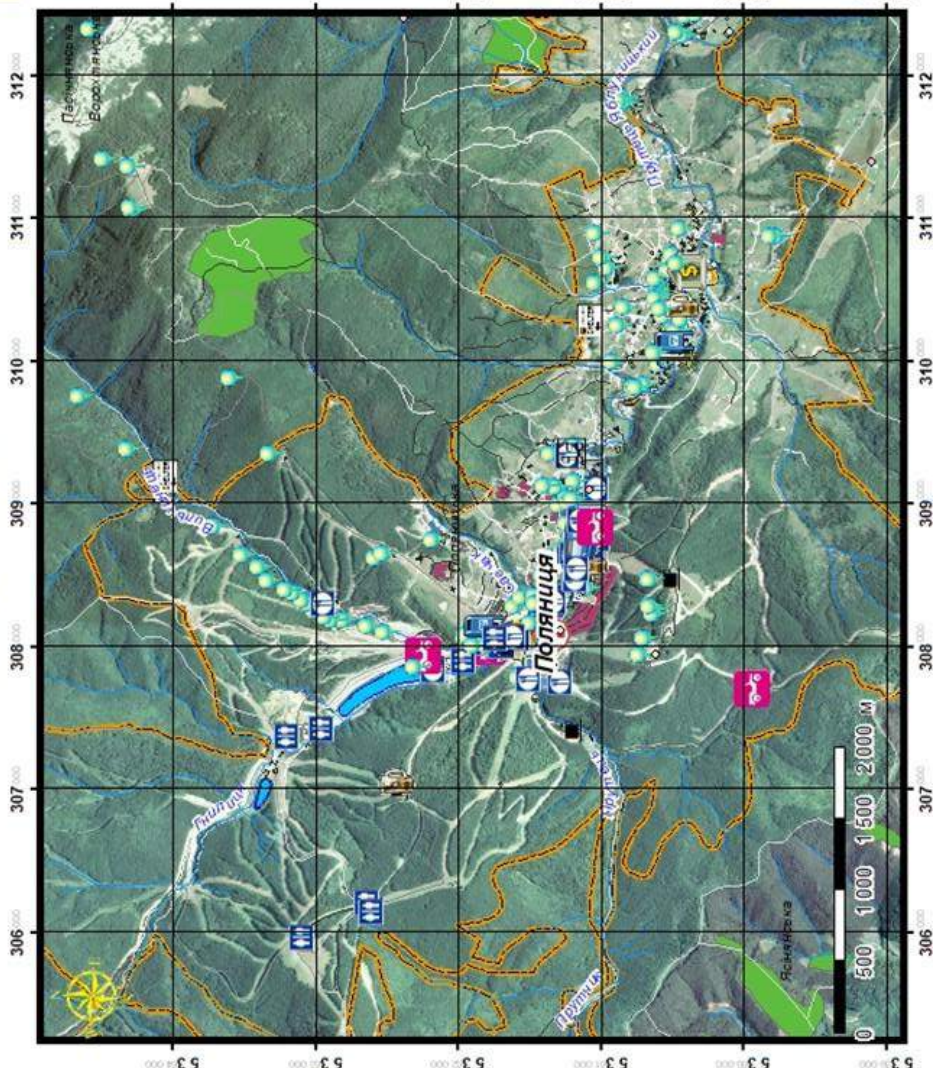
Масштаб 1 : 40 000

- межі нас. пункту;
- будівлі;
- Туристичні ділянки:**
  - альпійське снарядження;
  - атракціони;
  - шале;
  - гостьові дома;
  - хостел
  - готель
  - інфо;
  - зони пієнку
  - будинок лісника

### Умовні позначення:

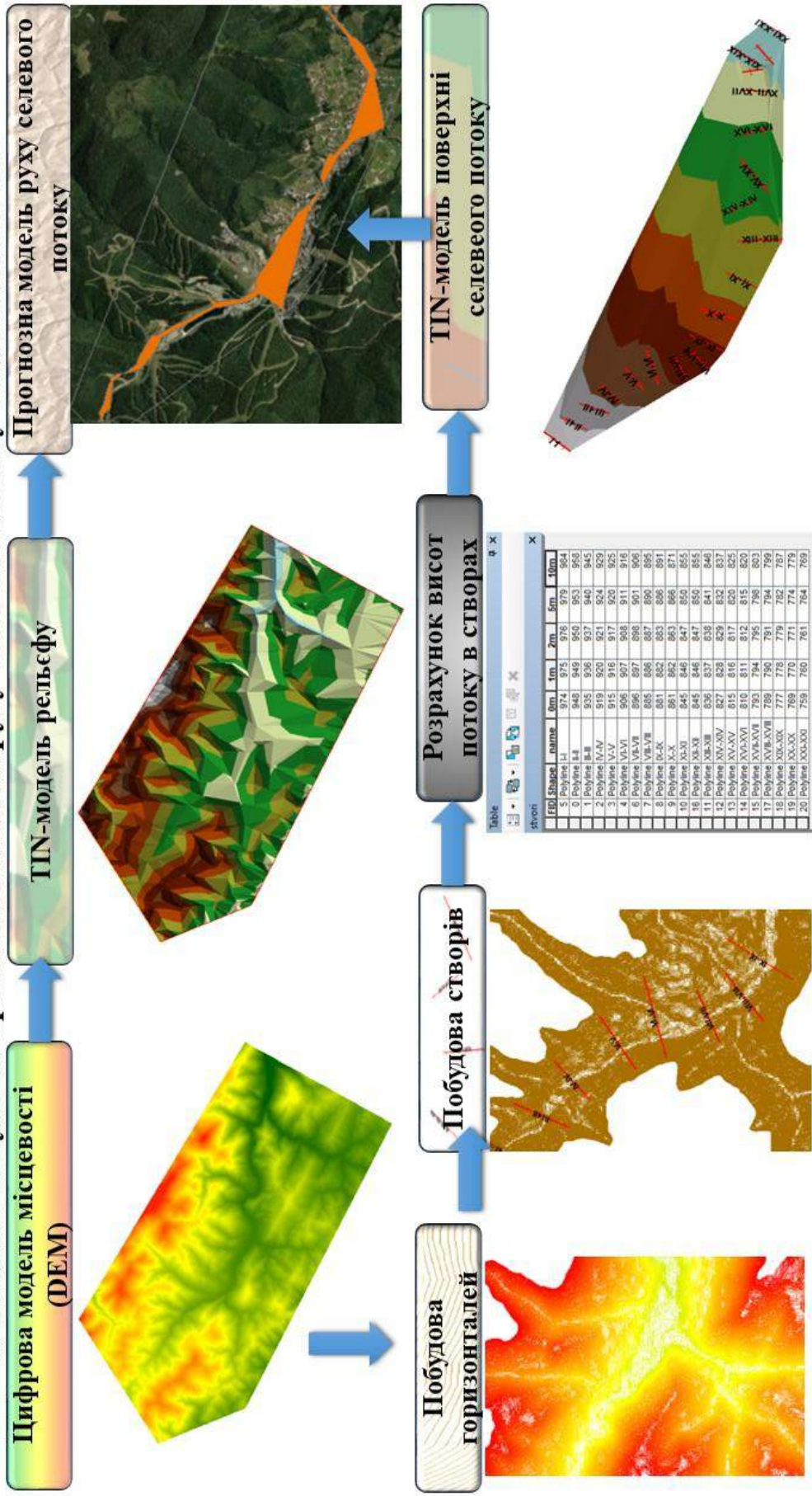
- Туристичні об'єкти**
- банкомати;
  - банки;
  - бари;
  - автовоззап;
  - кафе
  - зарядні станції для електромобілей;
  - поліклініка;
  - фастфуд;
  - нічні клуби;
  - інші туристичні місця;
  - пошта;
  - паби;
  - ресторани;
  - прюти;
  - туалети;
  - паркінги;
  - відд. до паркінгу;
  - аптеки;
  - поліція;

## 3D модель курорту Буковель, с. Поляниця

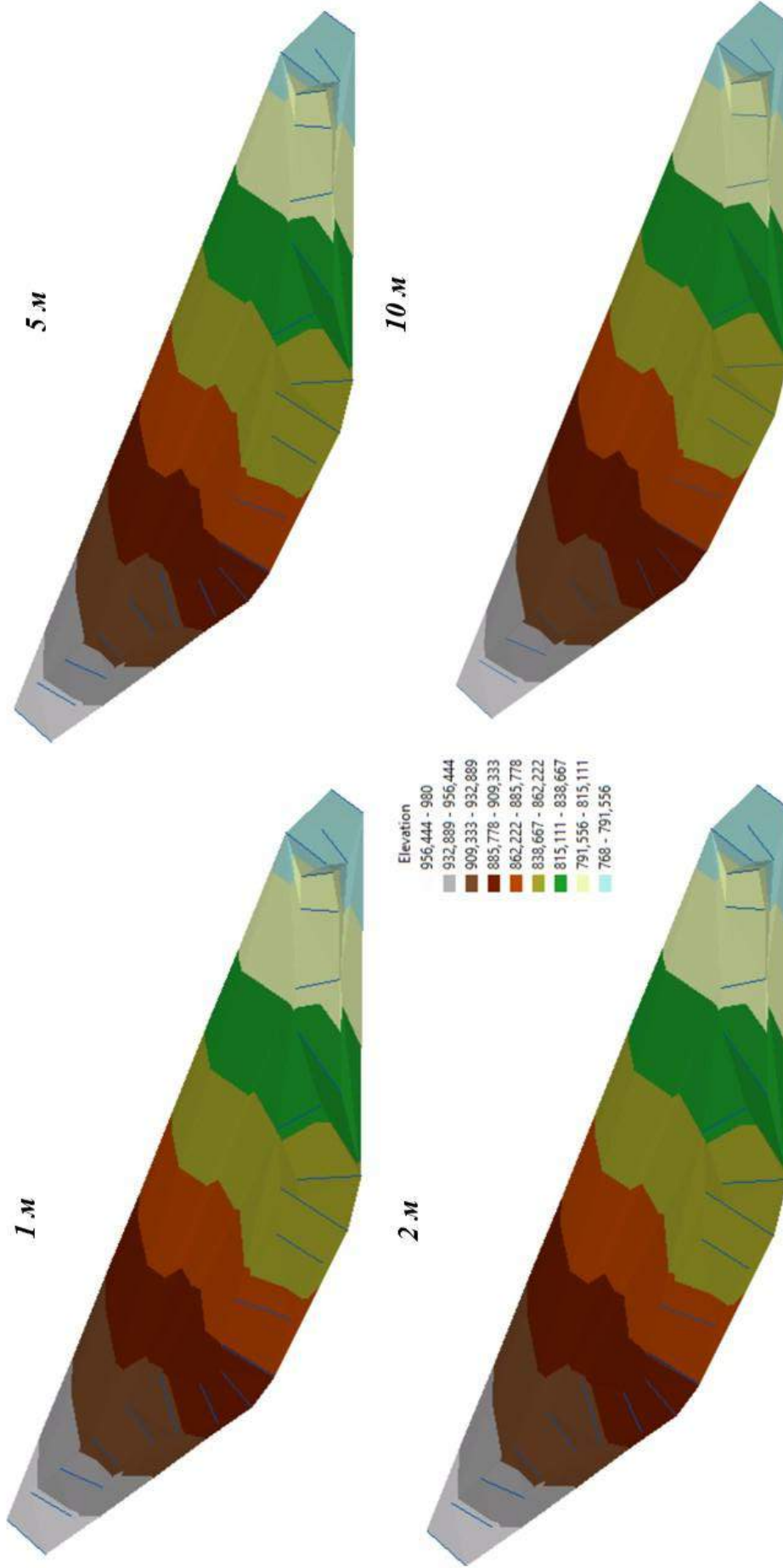




**Методика побудови прогнозної моделі руху селевого потоку за допомогою ГІС**

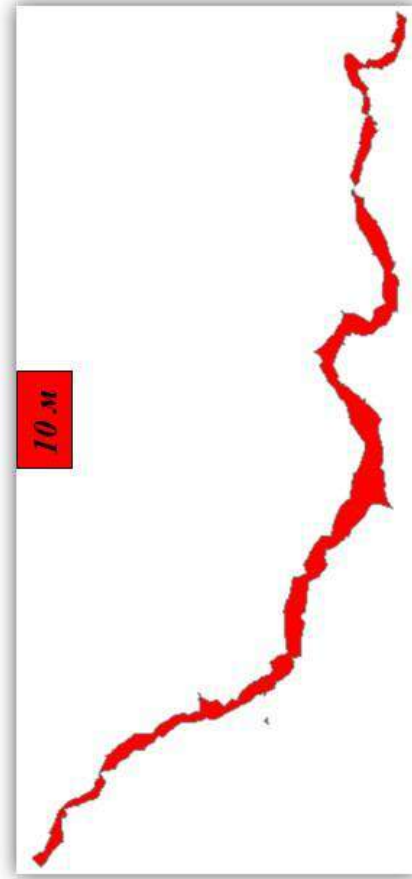
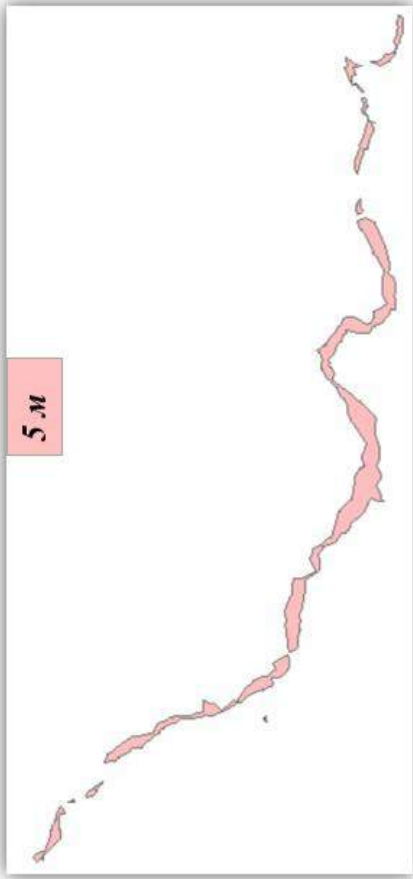
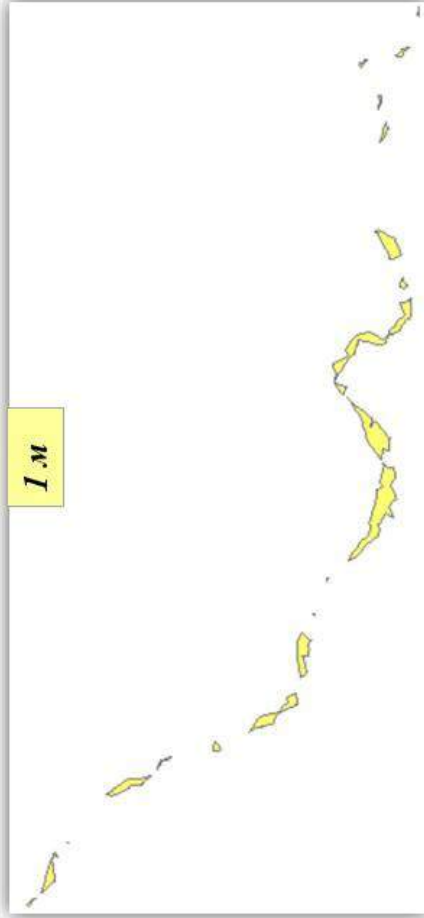


**ТІН-моделі поверхні селевого потоку при різних його висотах**

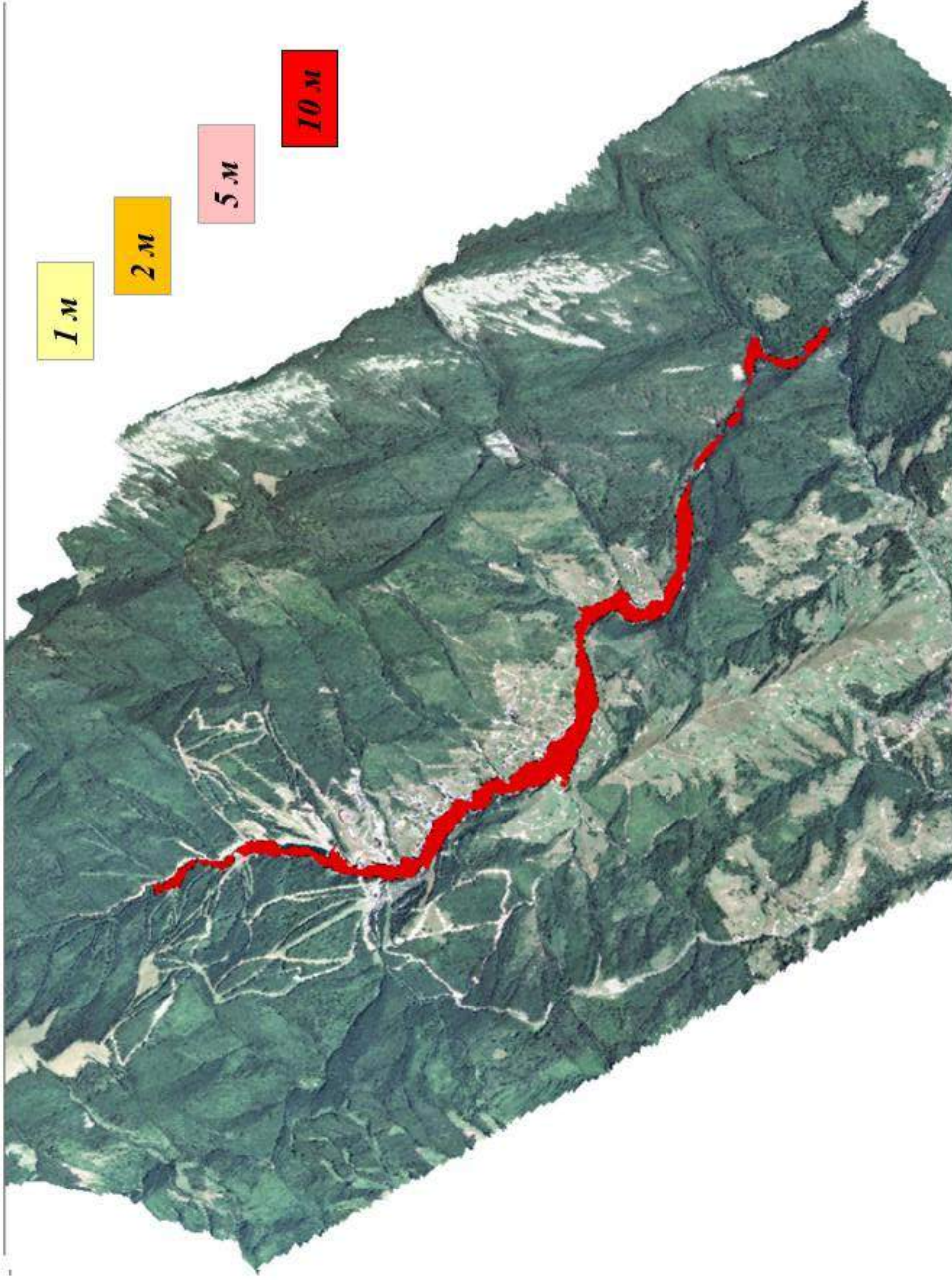




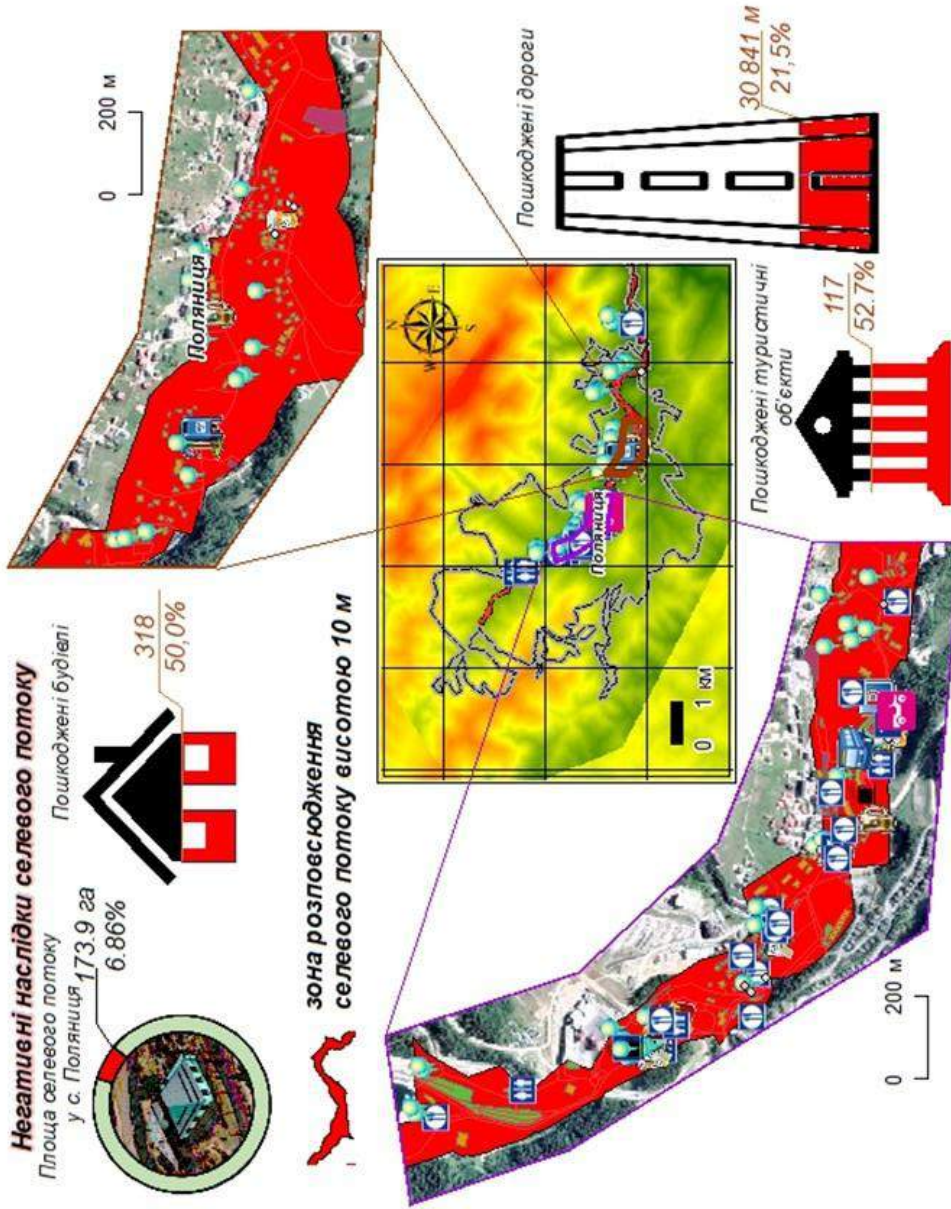
**Ймовірні зони руху селевого потоку при різних висотах**



3D візуалізація ймовірних зон руху селевого потоку при різних висотах



## Прогнозна карта негативних наслідків селевого потоку висотою 10 м



## Умовні позначення:



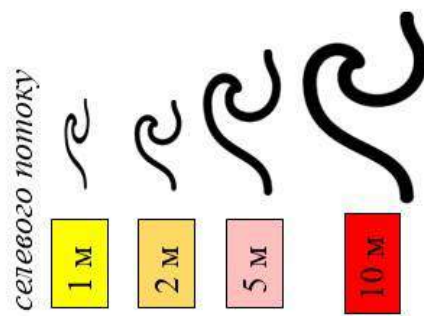
## Прогнозні негативні наслідки селевих потоків на курорті Буковель у с. Поляниця

Загальна кількість об'єктів, що знаходяться в зоні руху селевого потоку різної висоти

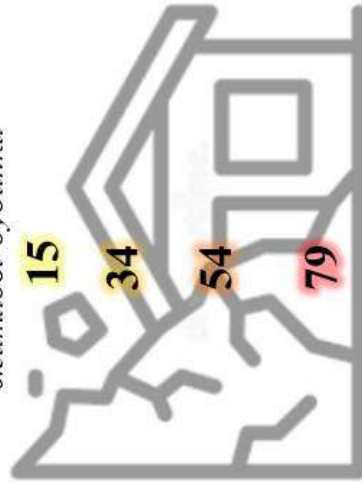
Висота селевеого потоку	Площа, га	Будівлі		Туристичні об'єкти		Дороги та стежки	
		кільк.	площа, м <sup>2</sup>	точкові	полігональні	кількість	довжина, м
с. Поляниця	2519,4	636	157 266	222	192	703	143 257
1 м	51	112	24 260	24	36	169	8425
2 м	66,7	140	35 790	35	41	198	11 681
5 м	111,8	221	42 399	70	61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

## Негативні наслідки від селевих потоків різної висоти

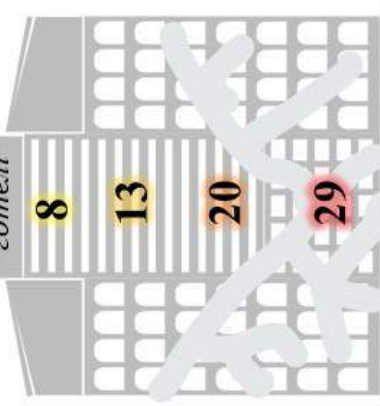
Висота селевеого потоку



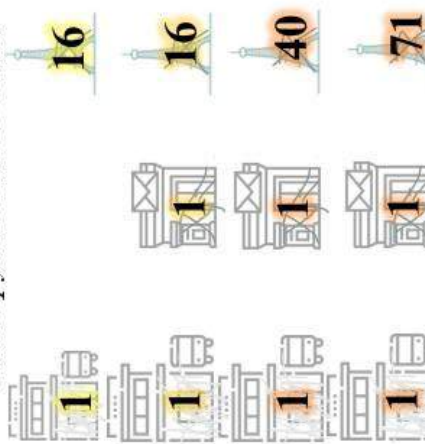
Зруйновані житлові будинки



Зруйновані готелі



Інші зруйновані об'єкти



## Висновки

1. 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.
2. 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.
3. 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.
4. 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.

## Апробації

1. Методика визначення пошкодження родючого шару ґрунту від ведення військових дій за даними ДЗЗ / Бутенко О.С., Горелик С.І., Баранов М.В. // Колективна монографія за матеріалами XXI Міжнародної науково-практичної конференції (Київ, 14-16 листопада 2022 р.) / За заг. ред. С.О. Довгого. – К.: ТОВ «Видавництво «Юстон», 2022. – с. 157-158.