

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 проєкту (роботи)**

(тип кваліфікаційної роботи)

\_\_\_\_\_магістр

(освітній ступінь)

на тему «Оцінка впливу надзвичайних ситуацій, пов'язаних з підтопленнями (паводками, підривом дамб та інше) на розповсюдження мінної небезпеки»

ХАІ.407.462м.24О193.1804078 ПЗ

Виконала: студентка 2 курсу групи № 462м

Спеціальність 193 Геодезія та землеустрій

(код та найменування)

Освітня програма Геоінформаційні системи та технології

(найменування)

\_\_\_\_\_Тоцька А.О.

(прізвище та ініціали студента (ки))

Керівник: \_\_\_\_\_Бутенко О.С.

(прізвище та ініціали)

Рецензент: \_\_\_\_\_Полупан А.В.

(прізвище та ініціали)

Харків – 2024

**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

Рівень вищої освіти магістр

Спеціальність 193 Геодезія та землеустрій  
(код та найменування)

Освітня програма Геоінформаційні системи та технології  
(найменування)

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

**Завідувач кафедри**

Станіслав ГОРЕЛИК

(підпис)

(ініціали та прізвище)

«23» жовтня 2023 р.

**З А В Д А Н Н Я**  
**НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Тоцька Аеліта

Олександрівна

(прізвище, ім'я, по батькові)

Тема випускної роботи «Оцінка впливу надзвичайних ситуацій, пов'язаних з підтопленнями (паводками, підривом дамб та інше) на розповсюдження мінної небезпеки»

керівник кваліфікаційної роботи Бутенко Ольга Станіславівна д-р. техн. наук, проф.  
(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 роботи

1) Космічні знімки з супутника Sentinel, SRTM данні, кліматичні данні з WorldClim, данні ґрунтового покриву з FAO/UNESCO, векторні шари річкових систем HydroSHEDS, адміністративна карта України.

2) Геоінформаційне програмне забезпечення (пакет ArcGIS Pro)

4. Зміст пояснювальної записки (перелік завдань, які потрібно розв'язати)

Аналіз впливу повеней на розповсюдження мінної небезпеки в Україні. Актуальність та оцінка можливого впливу розповсюдження мінної небезпеки у зв'язку з підтопленнями. Аналіз сучасних методів моніторингу водних об'єктів. Аналіз особливостей використання геоінформаційних технологій для попередження негативних наслідків розповсюдження мінної небезпеки у зв'язку з підтопленнями. Розробка методики побудови картографічних моделей з використанням даних ДЗЗ та даних з відкритих геопорталів. Висновки.

5. Перелік графічного матеріалу

Структурна схема методики визначення зон можливого розповсюдження мінної небезпеки у випадку затоплення території. Структурна схема методики

створення картографічної моделі в ArcGIS Pro. Структурна схема створення моделі водного об'єкту. Картографічні моделі рельєфу. Картографічні моделі типів ґрунтів, землекористування. Кліматичні картографічні моделі. Структурна схема методики рекласифікації растрового зображення. Структурна схема створення інструменту розрахунку ризиків затоплення території у Model Builder.

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Основна частина	Бутенко О.С.	23.10.23	11.01.24
	<i>Професор</i>		

Нормоконтроль Красовська І.Г. «  » 01 2024 р.

7. Дата видачі завдання 23.10.2023

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів кваліфікаційної роботи	Примітка
1	Аналіз забруднення вибухонебезпечними предметами території України	23.10.23-29.10.23	
2	Актуальність та оцінка можливого розповсюдження мінної небезпеки у випадку затоплення території	02.10.23-10.10.23	
3	Аналіз сучасних методів вирішення проблеми	15.10.23-29.10.23	
4	Аналіз особистостей використання геоінформаційних технологій для визначення зон з високим ризиком затоплення	06.11.23-18.11.23	
5	Розробка методики побудови картографічних моделей з використанням даних ДЗЗ	21.11.23-07.12.23	
6	Написання пояснювальної записки	10.12.23-11.01.24	

Студентка

Керівник дипломної  
(кваліфікаційної) роботи

\_\_\_\_\_

(підпис )

Аеліта ТОЦЬКА

(ініціали та прізвище)

Ольга БУТЕНКО

(підпис )

(ініціали та прізвище)

## РЕФЕРАТ

Дипломна магістерська робота містить: 85 сторінок, 54 рисунка, 9 таблиць, 20 посилань.

Об'єкт дослідження: аналіз факторів розповсюдження мінної небезпеки у зв'язку ситуаціями, пов'язаних з підтопленнями і їхній вплив на розповсюдження мінної небезпеки.

Предмет дослідження: методи розповсюдження мінної небезпеки у зв'язку з підтопленнями.

Ціль роботи: попередження негативних наслідків розповсюдження мінної небезпеки у зв'язку з підтопленнями.

Методи дослідження методи аналізу даних космічного моніторингу, картографічні методи, методи математичного аналізу.

У результаті роботи було отримано картографічні моделі, що демонструють рівень ризику затоплення території. За допомогою програми Model Builder процес розрахунку ризиків затоплення було автоматизовано.

Ключові слова: ПОВІНЬ, РІЧНИЙ БАСЕЙН, ГЕОПРОСТОРОВИЙ АНАЛІЗ, РИЗИК ЗАТОПЛЕННЯ ТЕРИТОРІЇ, МІНА, ВИБУХОНЕБЕЗПЕЧНІ ПРЕДМЕТИ, СУЛА, КАХОВСЬКА ГЕС, КАРТОГРАФІЧНА МОДЕЛЬ

## ABSTRACT

The master's thesis contains: 85 pages, 54 figures, 9 tables, 20 links.

Object of research: analysis of mine risk factors in connection with flooding situations and their impact on mine risk proliferation.

Subject of research: methods of mine risk propagation in connection with flooding.

Objective: to prevent the negative consequences of the spread of mine danger due to flooding.

Research methods: methods of analysing space monitoring data, cartographic methods, methods of mathematical analysis.

As a result of the work, cartographic models were obtained that demonstrate the level of risk of flooding in the territory. The process of flood risk calculation was automated using the Model Builder software.

Keywords: FLOOD, RIVER BASIN, GEOSPATIAL ANALYSIS, RISK OF FLOODING, MINE, EXPLOSIVE ORDNANCE, SULA, KAKHOVKA GES, CARTOGRAPHIC MODEL

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	8
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ЗАБРУДНЕННЯ ВИБУХОНЕБЕЗПЕЧНИМИ ПРЕДМЕТАМИ ТЕРИТОРІЇ УКРАЇНИ.....	10
1.1 Формулювання проблеми та її актуальність .....	11
1.2 Основні поняття мінної небезпеки .....	13
1.3 Аналіз попередніх досліджень та публікацій.....	16
РОЗДІЛ 2 АНАЛІЗ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ, ПОВ'ЯЗАНИХ З ПІДТОПЛЕННЯМИ В УКРАЇНІ.....	20
2.1 Вплив повеней на економіку країни.....	26
2.2 Загрози від повеней у нинішніх умовах.....	30
2.3 Попередження та боротьба з повінню.....	31
РОЗДІЛ 3 АНАЛІЗ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ, ПОВ'ЯЗАНИХ З ПІДТОПЛЕННЯМИ У ARCGIS PRO .....	34
3.1 Визначення області дослідження.....	34
3.2 Аналіз інформації з відкритих джерел інформації .....	37
3.3 Перекласифікація растрів .....	54
3.4 Метод аналізу ієрархій.....	59
3.5 Зважене накладання .....	64
РОЗДІЛ 4 ВАЛІДАЦІЯ РОЗРОБЛЕНОЇ МОДЕЛІ НА ПРИКЛАДІ ЗАТОПЛЕННЯ У НАСЛІДКУ ПІДРИВА КАХОВСЬКОЇ ГЕС .....	73
4.1 Метод аналізу AUC-ROC.....	79
ВИСНОВКИ.....	81
ДОДАТОК А Плакат на тему «Оцінка впливу надзвичайних ситуацій, пов'язаних з підтопленнями (паводками, підривом дамб та інше) на розповсюдження мінної небезпеки» .....	83
ДОДАТОК Б Презентація на тему «Оцінка впливу надзвичайних ситуацій, пов'язаних з підтопленнями (паводками, підривом дамб та інше) на розповсюдження мінної небезпеки» .....	87

## ВСТУП

Україна потерпає від забруднення мінами та вибухонебезпечними об'єктами, за площею замінованих земель ООН відносить Україну до найзамінованіших країн світу. За даними Міністерства внутрішніх справ понад 250 000 кв. км наразі є небезпечними для використання, включаючи як приватні території, так і критичну інфраструктуру, ліси та поля. Загрозу несе і водний простір: у випадку підняття рівня води нерозірвані снаряди, міни можуть переміщуватися водою і можуть детонувати у будь-який момент. Отже, проблема розмінування територій є критично важливим аспектом сучасної безпеки.

Об'єкт дослідження: аналіз факторів розповсюдження мінної небезпеки у зв'язку ситуаціями, пов'язаних з підтопленнями і їхній вплив на розповсюдження мінної небезпеки.

Предмет дослідження: методи оцінювання впливу.

Ціль роботи: попередження негативних наслідків розповсюдження мінної небезпеки у зв'язку з підтопленнями.

Методи дослідження: методи аналізу даних космічного моніторингу, картографічні методи, методи математичного аналізу.

Сучасний розвиток наукових досліджень та технологій вимагає комплексного підходу до вирішення актуальних проблем, пов'язаних із природними катастрофами. Мета полягає в розробці інтегрованої системи моделювання та аналізу ризику повеней для вдосконалення стратегій природоохоронного та техногенного захисту. Зокрема, обраною областю дослідження є визначення можливих зон розповсюдження мінної небезпеки у випадку затоплення річного басейну, що стає невід'ємною частиною роботи зі зменшення ризику для населення та інфраструктури. Робота поділяється на декілька етапів, які детально демонструє схема на рис. 1.



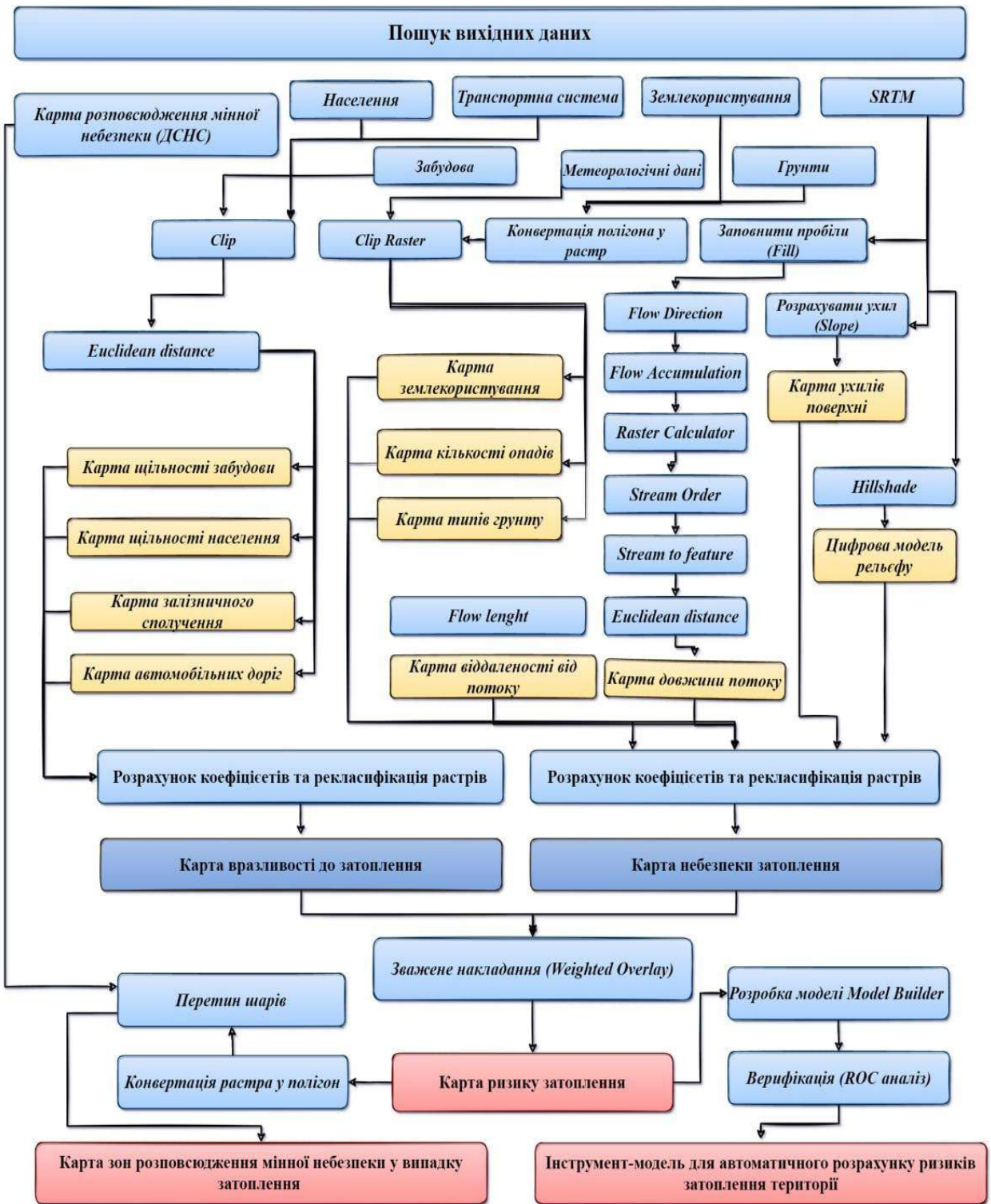


Рисунок 1 – Структурна схема роботи

## РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ЗАБРУДНЕННЯ ВИБУХОНЕБЕЗПЕЧНИМИ ПРЕДМЕТАМИ ТЕРИТОРІЇ УКРАЇНИ

Від Карпатських гір до солончаків півдня, уздовж долини Дніпра вибухонебезпечні пережитки війни (ВПВ) загрожують повсякденному життю іракських громад. Вибухонебезпечні предмети включають наземні міни, а також такі предмети, як боєприпаси, що не вибухнули, касетні суббоєприпаси та покинуті запаси боєприпасів. Основні військові мінні поля та поля битв, усіяні покинутими та нерозірваними боєприпасами, запасами зброї та вибухівки в прихованих схованках по всій країні, а також ВЗВ від останніх конфліктів зробили Україну однією з найбільш забруднених країн у світі.

За оцінками Міністерства внутрішніх справ (МВС), 30% території країни (понад 174 000 кв. км) заміновано. Сюди входять як приватні землі, так і об'єкти критичної інфраструктури, а також водні об'єкти, ліси та поля (рис. 1.1).

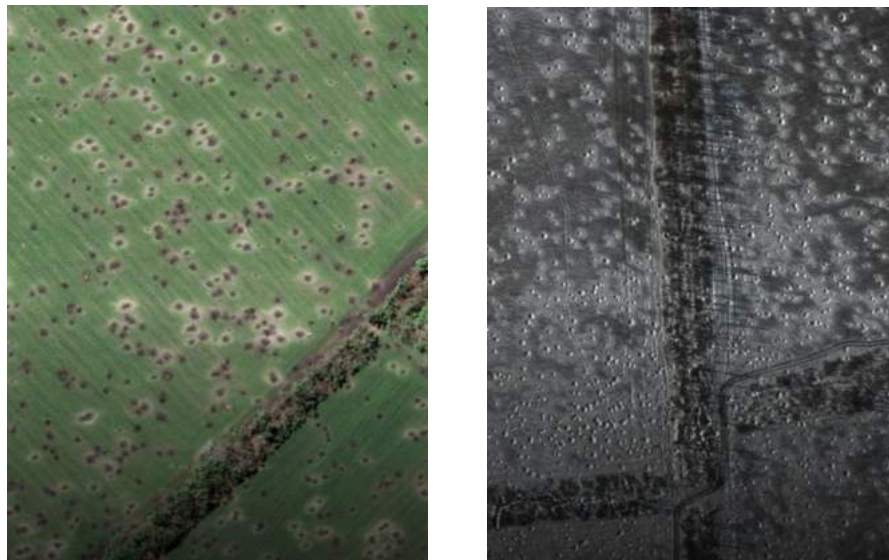


Рисунок 1.1 – Супутникові знімки території проведення бойових дій

За оцінками міжнародної спільноти, для очищення цих територій знадобляться багато років і десятки мільярдів доларів. До того часу тисячі

гектарів є небезпечними для проживання і непридатними для сільського господарства [1].

### 1.1 Формулювання проблеми та її актуальність

За даними Державної служби України з надзвичайних ситуацій (ДСНС) площа замінованих полів наразі сягнула 8 млн га, з яких 6 млн га розміщуються на окупованих територіях, 2 млн га – на звільнених. Найбільш забрудненими наразі є Харківщина, частково Миколаївщина, Запоріжжя, Херсонщина, Донеччина, Сумщина, Чернігівщина та Київщина. Наразі піротехніки обстежили забруднених площ – 93 тис. га території та 7,5 тис. га акваторії виявивши знешкодивши 427 тис. вибухонебезпечних предметів в тому числі протипіхотні міни, касетні боеприпаси, дистанційно встановлені міни, проте знадобляться роки, щоб очистити усю територію.

Ситуацію можна відстежувати на офіційному сайті ДСНС, або у спеціально розробленому додатку. На інтерактивній мапі позначені всі місця в Україні, де вже виявлені або імовірно знаходяться вибухонебезпечні предмети. Для кожного такого місця вказано характер небезпеки (рис. 1.2).

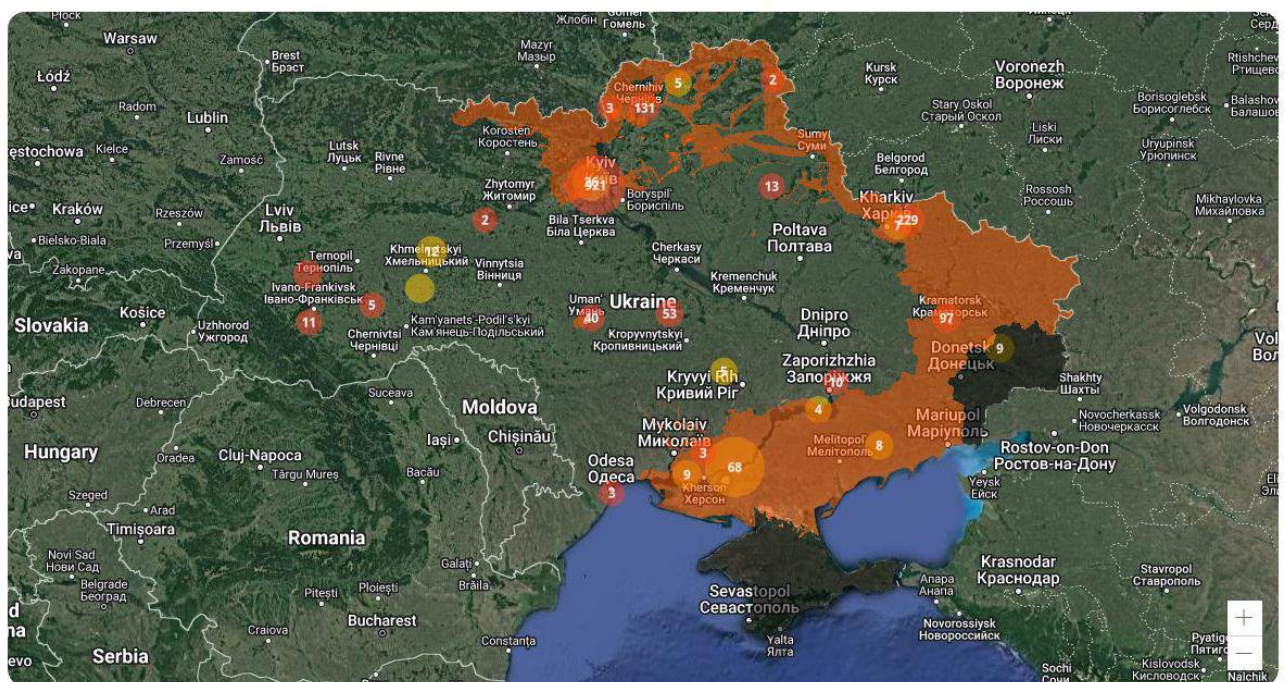


Рисунок 1.2 – Інтерактивна мапа територій, які потенційно можуть бути забруднені вибухонебезпечними предметами [2]

Картографи з The HALO Trust документують руйнування в Україні, щоб оцінити ризики від боєприпасів, що не розірвалися, перед відновленням і переселенням.

Для The HALO Trust, найбільшої організації з розмінування у світі, картографічні зусилля зосереджені на виявленні наявності вибухонебезпечних пережитків війни, а також пошкоджень будинків та інфраструктури (рис. 1.3).

Географічно розподілена команда використовує геоінформаційну систему, щоб детально описувати наслідки та поточні небезпеки. Експерти HALO з вибухонебезпечних боєприпасів переглядають різноманітні набори даних, які надходять до бази даних із соціальних мереж і новин, перевіряють, чи стосуються ці дані сектору протимінної діяльності, ідентифікують модель боєприпасів, якщо це можливо, а потім розміщують небезпеки на розумній карті, щоб поділитися з іншими (рис. 1.3).



Рисунок 1.3 – Карта конфліктів і забруднень HALO станом на 26 вересня 2022 року

На рис. 1.3 кожна точка відповідає унікальному інциденту, пов'язаному з ВБП, а кольори позначають різні категорії відповідно до цілей проекту.

Робота над уточненням набору даних і карт, які будуть надані іншим гуманітарним організаціям і міжнародному співтовариству, все ще триває. Оскільки HALO продовжує обробляти та вдосконалювати набір даних, це дасть більше ясності щодо забруднення в Україні [4].

Отже, актуальною на сьогодні темою є розмінування території, зокрема розробка методики, у результаті якої потенційно постраждали райони можуть бути огорожені, а влада може інформувати та навчати місцеве населення. Це, у свою чергу, зменшує ризик травмування населення, а потенційно забруднені території можуть бути пріоритетними для розмінування, щоб уражені території могли якнайшвидше використовуватися місцевим населенням, наприклад, для сільського господарства.

## 1.2 Основні поняття мінної небезпеки

Міна – це вибуховий пристрій, який прихований під або замаскований на землі з метою вивести з ладу або знищити ворожі цілі. Протипіхотні міни призначені для поранення або знищення комбатантів противника. Протитранспортні міни призначені для знищення транспортних засобів і осіб, які в них знаходяться, або для запобігання їх подальшому руху.

Той факт, що міни були встановлені вздовж берегів річки, збільшує ймовірність того, що вони будуть вибиті та знесені далі за течією. Багато протипіхотних мін, які є зробленими з пластику – і тому їх легко переносять на великі відстані паводкові води та швидкі річки. Пластикові наземні міни також досить стійкі до води і можуть залишатися діючими, незважаючи на тривале занурення.

Приклади найбільш розповсюджених мін, що забруднюють територію України наведені в табл. 1.1.

Таблиця 1.1 – Найбільш розповсюджені вибухонебезпечні предмети

Назва	Характерні ознаки	Зовнішній вигляд
Міна-пастка МЛ-7	Фугасна міна-пастка розвантажувальної дії. Міну використовують як пристрій, що ускладнює або робить неможливим розмінування Міну завжди встановлюють на місцевості так, щоб не було демаскуючих ознак мінування. Зверху кладуть предмети, які обов'язково зацікавлять противника: цінні речі, зброю, оргтехніку, інструменти. У такому випадку завдають поразки за рахунок сили вибуху самої міни.	
Міна-сюрприз МС-3	Мають невеликий розмір. Працюють за принципом розвантаження. Встановлені в талий ґрунт під протитанкові міни і під різні предмети, при замерзанні ґрунту можуть спрацювати мимоволі в результаті пучення ґрунту, що призводить до зняття навантаження з міни. Міни МС-3 невилучні, знешкоджувати забороняється.	
ПОМ-2	Осколкова протипіхотна міна натяжної дії кругового ураження дистанційного мінування, яка має металевий корпус та 4 датчики-розтяжки при контакті з якими відбувається її підрив.	
ОЗМ-72	Протипіхотна осколково-загороджувальна міна, що вистрибує, має кругову поразку. У армійських колах цю міну часто називають «відьма» чи «жаба». Міна має натяжний принцип дії. Радіус суцільної поразки 25 м. Спрацьовує від натискання вагою понад 1-17 кг	
ПФМ-1 та ПФС-1С	Фугасна протипіхотна міна натискної дії. Вона має пластмасовий корпус зеленого або коричневого кольорів й маленькі габарити. Встановлюється виключно методом дистанційного мінування на ґрунт. Спрацьовує від натискання вагою понад 5 кг і має механізм самоліквідації.	

Продовження табл. 1.1

МОН-200	Протипіхотна міна спрямованої дії, використовується проти неброньованої та легкоброньованої техніки. Вона має металевий корпус та датчики цілі у вигляді розтяжок. Радіус суцільної поразки 240 м.	
ПМН-2	Фугасна протипіхотна міна натискної дії. Має зелений або коричневий пластиковий корпус діаметром 12 см. Детонатор у вигляді хреста. Спрацьовує від натискання вагою від 5 кг. Встановлюють у ґрунт або на його поверхню.	
ПТМ-3	Протитранспортна осколково-фугасна міна з магнітним впливом проти броньованих цілей, має функцію самознищення. Міна має оливково-сірий металевий корпус. Радіус суцільної поразки 3 м.	
МОН-50	Осколкова протипіхотна міна направленої дії. Вона має зелений пластмасовий корпус та датчики у вигляді розтяжки. Може бути встановлена у керованому або некерованому вигляді. Спрацьовує від натискання вагою від 3,5 кг.	
ПОМ-3 «Медальйон»	Новітня російська протипіхотна міна дистанційного встановлення із безконтактним способом виявлення цілей. Виконана у вигляді металевого циліндру діаметром 6,5 см і висотою 20 см. Блок електроніки приймає сигнали про вібрації ґрунту під міною і порівнює їх із наявними в пам'яті сигнатурами. За командою електронного блоку відбувається підрип вишибного заряду, після чого бойова частина міни «вистрибує» на висоту близько 1-1,5 м. Осколки забезпечують поразку живої сили, в т.ч. із засобами захисту, у радіусі 8-12 м. Випадки використання фіксують в Сумській та Харківській областях.	

### 1.3 Аналіз попередніх досліджень та публікацій

Міграція наземних мін і вибухонебезпечних пережитків війни викликає серйозне занепокоєння в районах, забруднених такими боєприпасами під час військових дій. Тому необхідно ідентифікувати, позначити та, зрештою, з'ясувати фактичну присутність цих боєприпасів. Однак також важливо враховувати, куди ці боєприпаси можуть мігрувати під впливом факторів навколишнього середовища (рис. 1.4). У цьому контексті слід розглядати наслідки повеней і гравітаційних рухів мас.



Рисунок 1.4 – Переміщення мін та інших боєприпасів у зоні підтоплення Каховської ГЕС а) Якірна річкова міна; б) Протитанкові міни фугасної дії ТМ-62М

З макроскопічної точки зору ні наземні міни, ні ВЗВ суттєво не змінять загальних морфологічних характеристик русла річки або руйнуючого та сповзаючого тіла ґрунту. Наприклад, один боєприпас матиме лише математичний викид на кривій оцінки. Його розміри також не спричинятимуть ефектів гідравлічного опору, які загалом впливатимуть на основні морфологічні процеси в потоці. Таким чином, макроскопічно річка з міною, снарядом, ракетою чи бомбою на своєму руслі буде поводитися так само, як незабруднена річка. Передбачити, куди мігруватиме боєприпас під час повені, не можна відповісти за допомогою загальноприйнятих формул транспортування вантажів [5].



З мікроскопічної точки зору окрему протипіхотну міну або ВЗВ можна розглядати як окремий об'єкт у потоці чи вантажі. Однак їх властивості в цілому не відповідають властивостям навколишніх природних відкладень. Зокрема, розміри такого боєприпасу в річці (за винятком, можливо, потоків) значно перевищують діаметр типових зерен. Існують також відмінності в щільності та властивостях поверхні, тому боєприпаси є «седиментологічною чужорідною частинкою» в потоці. З іншого боку, його можна змоделювати за допомогою підходу Лагранжа, враховуючи його траєкторію та гідроморфологічні сили (рис. 1.5).

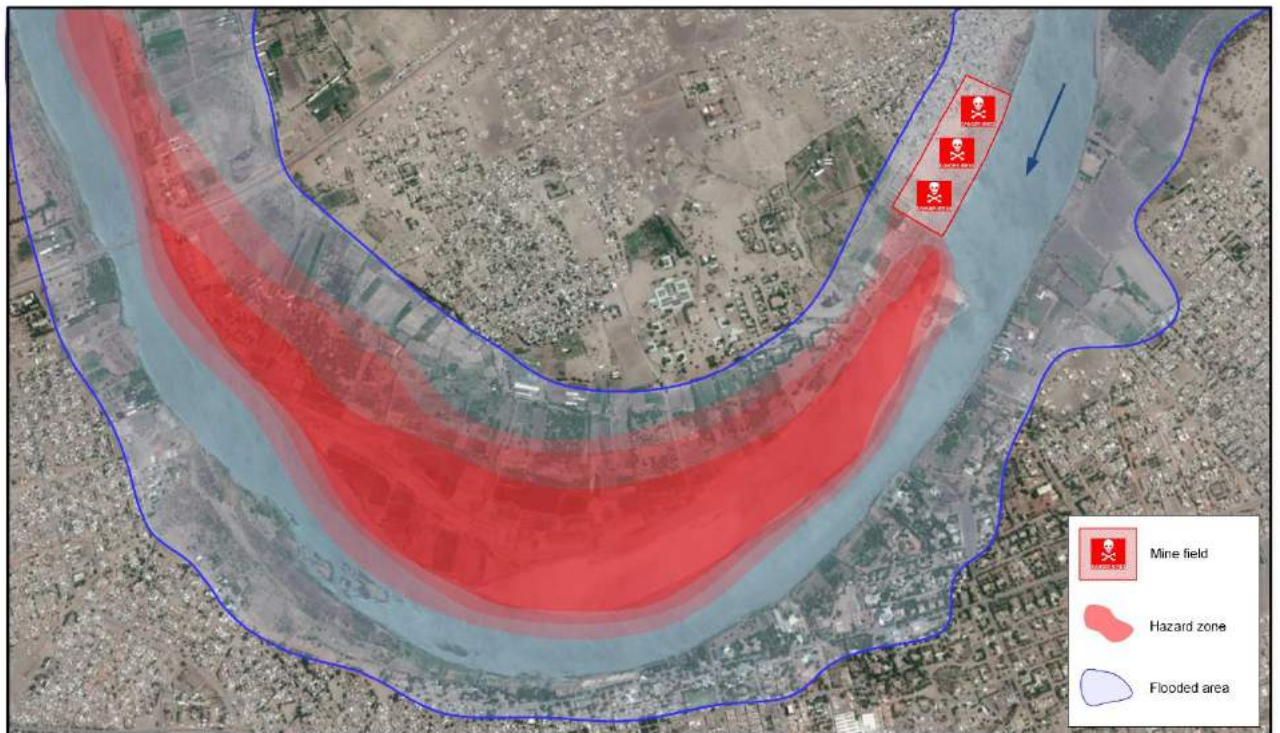


Рисунок 1.5 – Стохастично-детермінована модель для прогнозування ризику міграції наземних мін і ВЗВ вниз за течією від забрудненої території

Хоча мало досліджень щодо того, як механічні процеси в річках впливають на розгорнуті боєприпаси, здається, що для військово-морських мін це достатньо. Вже розглядалося вивчення міграції окремого боєприпасу (мікроскопічний вид) для наземних мін (тип морських мін). На відміну від протипіхотних мін і ВЗВ на землі, обставини дещо інші. Наземні міни

доставляються до місця призначення і падають на морське дно, де вони повністю піддаються впливу океанських течій. Відомо, що наземні шахти частково або повністю засипані морфодинамічними ефектами морського дна. В результаті можуть діяти кілька процесів одночасно. По-перше, течія може створити розмиву позаду шахти, в якій шахта котиться, а згодом частково або повністю похована вантажем, брижами або дюнами. Також може відбуватися нашарування тонучих зважених твердих речовин. Ці складні процеси відбуваються на фоні приливного впливу зі зміною швидкостей і напрямків течії, а також гравітаційних хвиль [5].

У минулому було розроблено кілька методів для вивчення проблеми заглиблених мін. Деякі з них мають емпіричний характер і є результатом невеликих лабораторних експериментів. Основними емпіричними моделями осадження похованих шахт, які можуть бути використані як відправна точка для подальших досліджень, є наступні:

- підхід моделі графічного хвильового розмиву «Прогноз осідання шахти в осад» [6];
- емпірична модель «Wave-Induced Spread Sheet Prediction (WISSP)»;
- модель «NBURY» [6];
- Експертна система підводних боєприпасів (UnMES) [7,8].

Гідромеханічний процес мобілізації та транспортування або поведінка наземних мін і ВЗВ у потоці недостатньо вивчений. Можна припустити, що похована шахта в заплаві (рис. 3, панель А) піддається напрузі зсуву дна під час повені (рис. 3, панель В). З макроскопічної точки зору субстрат починає мобілізуватись, коли напруга зсуву шару перевищує критичне значення, яке залежить від властивостей рідини та субстрату, зокрема, щільності твердої речовини та діаметра зерен (рис. 1.7).

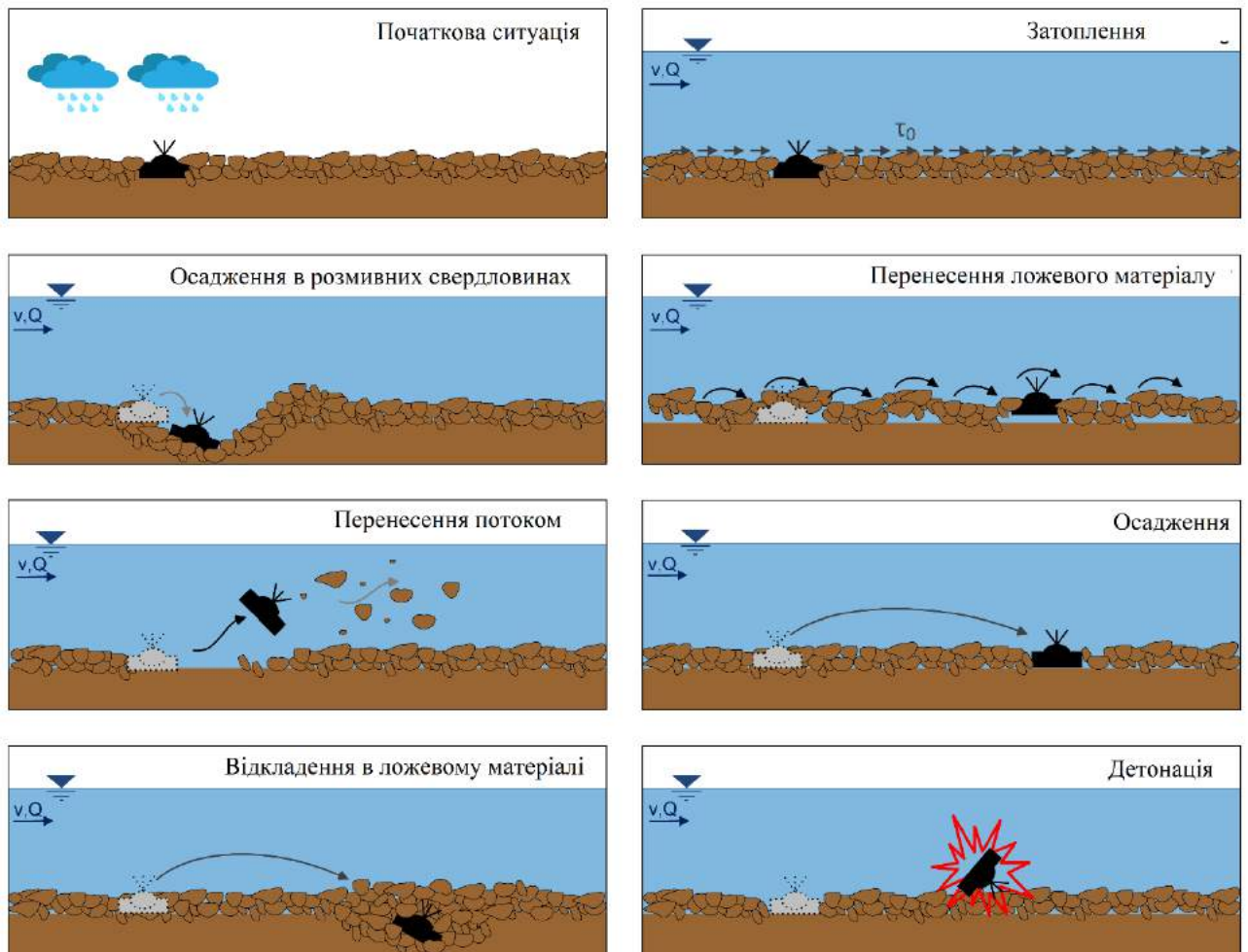


Рисунок 1.7 – Можливі процеси за допомогою яких наземна міна може пересуватись по річному руслу

Отже, розглянуті методи використовують гідромеханічні процеси, щоб спрогнозувати переміщення ВВП у безпосередньо у воді. Розроблена на основі використання геоінформаційних систем методика дозволяє враховувати не лише гідромеханічні процеси при аналізі переміщення міни, а й всі фактори навколишнього середовища, що можуть впливати на її рух.

Однією з суттєвих переваг ГІС є можливість ефективного управління інформацією, що є невід'ємною частиною всіх видів підводного огляду та очищення. Це стосується безперервного процесу проведення оцінки інформаційних потреб, збору даних, аналізу даних і розповсюдження інформації для підтримки операцій.

## РОЗДІЛ 2 АНАЛІЗ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ, ПОВ'ЯЗАНИХ З ПІДТОПЛЕННЯМИ В УКРАЇНІ

На території України протікає близько 60 000 річок (рис. 2.1) і потічків загальною довжиною понад 210 тис. км. З них 90% дуже малі (завдовжки менше від 10 км) і малі річки (завдовжки понад 10 км) [9].



Рисунок 2.1 – Найбільші річки України

Річки історично були важливою умовою заснування та розвитку міст у тій чи іншій місцевості. Важливість наявності річки полягала у доступності необхідної кількості води як питних, так господарських потреб. Практично всі річки поповнюють свої запаси води в основному за рахунок поверхневого і підземного стоку. Поповнення відбувається з допомогою всіх видів опадів, які випадають протягом сезону. Виходячи з цього, рівень води в річці безпосередньо залежить від кількості опадів, що випали. У сезони посухи русло деяких річок може пересихати, а сезони опадів чи танення снігу переповнюються. Такий підйом рівня води може призвести не тільки до затоплення заплави річки, а й до повені в долині річки з заподіянням величезної шкоди інфраструктурі, господарській діяльності людини та несучи велику загрозу життю та здоров'ю населення.

Україна наражається на ризик гідрометеорологічних небезпек і стихійних лих, які в першу чергу впливають на сільське господарство та здоров'я людей, через сезонні повені та періоди посухи. Загрози від річкових, міських повеней

та лісових пожеж вважаються високими. Вплив зміни клімату робить Україну все більш вразливою до посухів, високих температур, хвиль тепла, сильних опадів, селищних потоків та повеней. Найпоширеніші стихійні лиха пов'язані з сильними зливами, які можуть спричинити зсуви ґрунту та затоплення великих площ сільськогосподарських угідь, житлових будинків і промислових об'єктів. Очікується, що зміна клімату збільшить ризики стихійних лих в Україні через підвищення температури та інтенсивність опадів, тривалі хвилі спеки та дефіцит води. За останні роки в регіоні зростає кількість стихійних лих, і в багатьох випадках вони вважаються катастрофічними, спричиняючи людські жертви та призводячи до значних економічних збитків.

Вимоги до управління ризиками стихійних лих такі, що стисла, чітка та достовірна інформація має вирішальне значення (рис. 2.2).

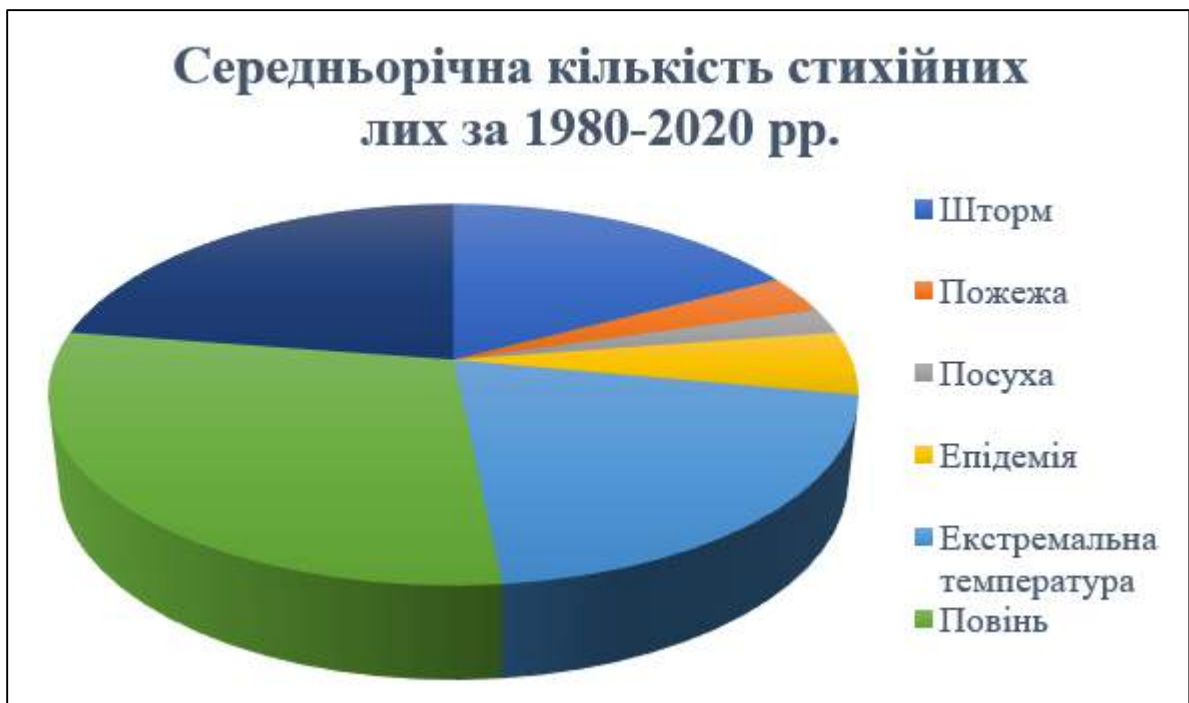


Рисунок 2.2 – Екологічні катастрофи на території України 1980-2020

Згідно з діаграмою «Екологічні катастрофи на території України 1980-2020» (рис. 2.3), яка містить огляд найпоширеніших стихійних лих у країні, найбільший відсоток (34%) становить повінь [9].

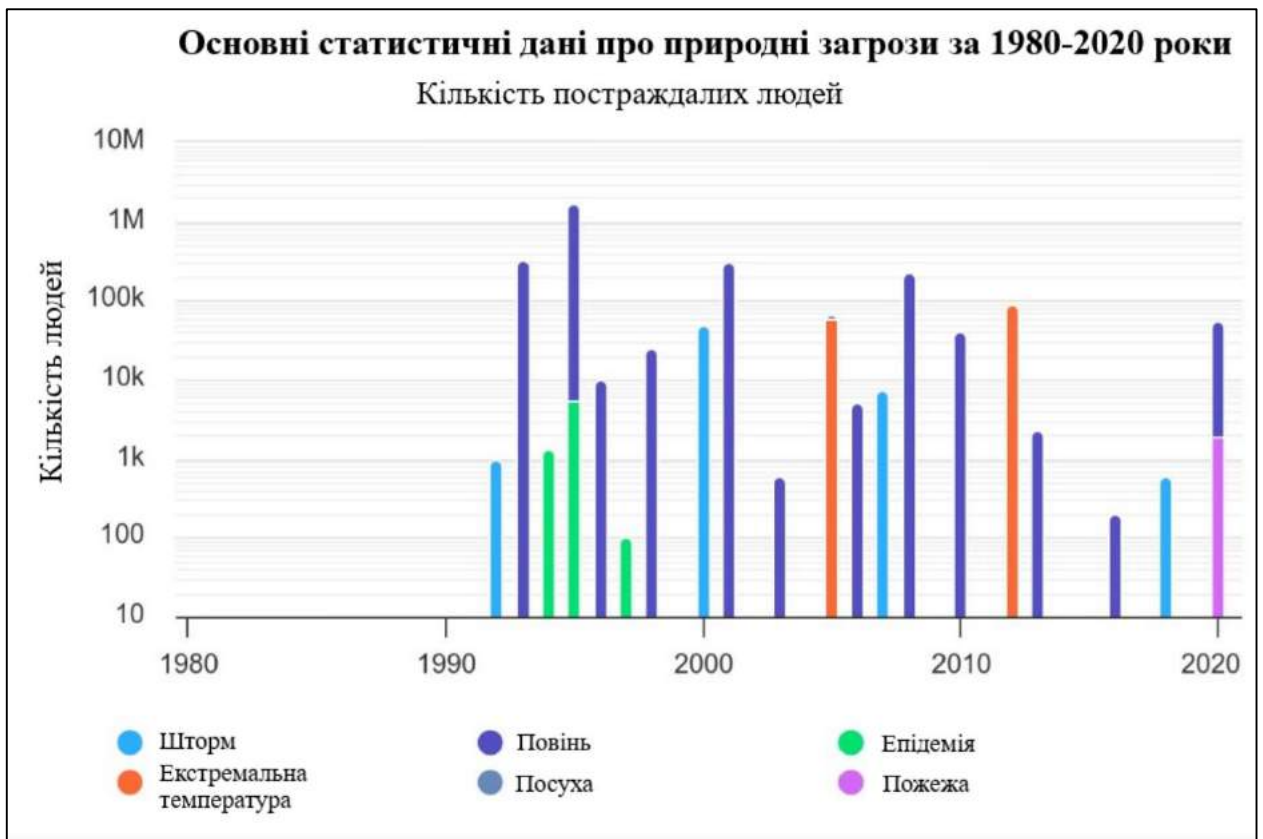


Рисунок 2.3 – Ключова статистика природних небезпек за 1980-2020 рр., кількість людей, які постраждали внаслідок стихійних лих

Саме вони від поводі страждає найчастіше найбільша кількість людей а Україні. Розуміння причин виникнення і наслідків поширення поводі, ефективний моніторинг і прогнозування дає можливість мінімізувати вплив поводі на здоров'я людей та економіку країни.

Повінь – стихійне лихо, що пов'язано з підняттям рівня води у водоймах і затопленням певної кількості суходолу.

Причини виникнення поводі достатньо різноманітні (рис. 2.4), їх можна поділити на природні (тривалі дощі, танення снігу, зміна форми або напрямку річкового русла, штормові хвилі, цунамі, пошкодження гідроспоруд в наслідок землетрусу або утворення природної греблі) та штучні (всі види руйнувань гідроспоруд людиною, наприклад підрив дамби, аварійне скидання води з водосховища, неправильне проектування і встановлення зливової каналізації).

## ПРИЧИНИ ВИНИКНЕННЯ ПОВІНІ

<b>Природні</b>	<p>тривалі дощі, танення снігу, зміна форми або напрямку річкового русла, штормові хвилі, цунамі, пошкодження гідроспоруд в наслідок землетрусу або утворення природної греблі</p>	<b>Антропогенні</b>	<p>всі види руйнувань гідроспоруд людиною, наприклад підрив дамби, аварійне скидання води з водосховища, неправильне проектування і встановлення зливової каналізації</p>
-----------------	--	---------------------	---

Рисунок 2.4 – Причини виникнення повені

Повіді оцінюють за об'ємом води та територією, яку охопила повідь. На Україні повідь пов'язують з підвищенням рівня води у водоймах в наслідок регулярних весняних повенів і нерегулярних паводків.

Повінь – це природне явище, пов'язане із збільшенням об'єму води в річці або іншому водоймі, що призводить до виходу води за межі ложа та затоплення прибережних територій. Це явище може бути наслідком інтенсивних дощів, талії снігу, весняних паводків, а також штучно створених обставин, таких як прориви дамб або інші техногенні витoki.

Повінь є страшним явищем через свою здатність завдає величезних збитків людям, тваринам і природному середовищу. Затоплення населених пунктів може призвести до великої кількості жертв, руйнування інфраструктури, втрати врожаю та інших негативних наслідків.

Існує кілька типів повеней, в залежності від їхнього походження та властивостей (рис. 2.5):

Річкова повінь: Спричиняється збільшенням витрат води в річці через дощі, сніготанення чи інші природні явища. Вона може мати сезонний характер і бути пов'язана із талією снігу весною.

Паводок: Виникає в результаті талії великої кількості снігу в гірських районах. Це може спричинити раптове підняття рівня води в річках та викликати паводкові ситуації.

Штучна повінь: Виникає через дії людини, такі як прорив дамб або невірне управління водними ресурсами.

Прибережна повінь: Спричиняється невеликими, але тривалими поривами вітру чи штормами на морі, що можуть призвести до підняття рівня води на узбережжі.



Рисунок 2.5 – Різні види повіні в Україні а) Весняне водопілля на р. Десні біля м. Чернігова; б) Паводок на р. Дністер біля м. Галич, 2020 рік; в) Розлив басейнів р. Прут і р. Тиса, червень 2020 рік; г) Затоплений Херсон у наслідку вибуху на Каховській ГЕС, 2023 рік



Розуміння цих типів повеней та розробка ефективних систем попередження і захисту може допомогти мінімізувати негативні наслідки цього природного явища.

Нещодавнє дослідження, що охопило частину території України, виявило значне зменшення річкових паводків у довгостроковій перспективі завдяки теплішим зимам і короткому сезону накопичення снігу, що призводить до зменшення весняних паводків внаслідок танення снігу. Там, де паводки все ж відбуваються, може спостерігатися зростання захворюваності через підвищення температури. В Україні було виявлено лептоспіроз, колись рідкісне інфекційне захворювання, що переноситься переважно гризунами і поширюється через контакт із забрудненою водою, рослинністю та брудом. Холера, гепатит А і сальмонела також з'явилися в прилеглих регіонах після епізодів повеней. Відслідкувати стан водних ресурсів у своєму регіоні можна за допомогою Інтерактивна карта забрудненості річок в Україні на основі даних Державного агентства водних ресурсів (рис. 2.6).

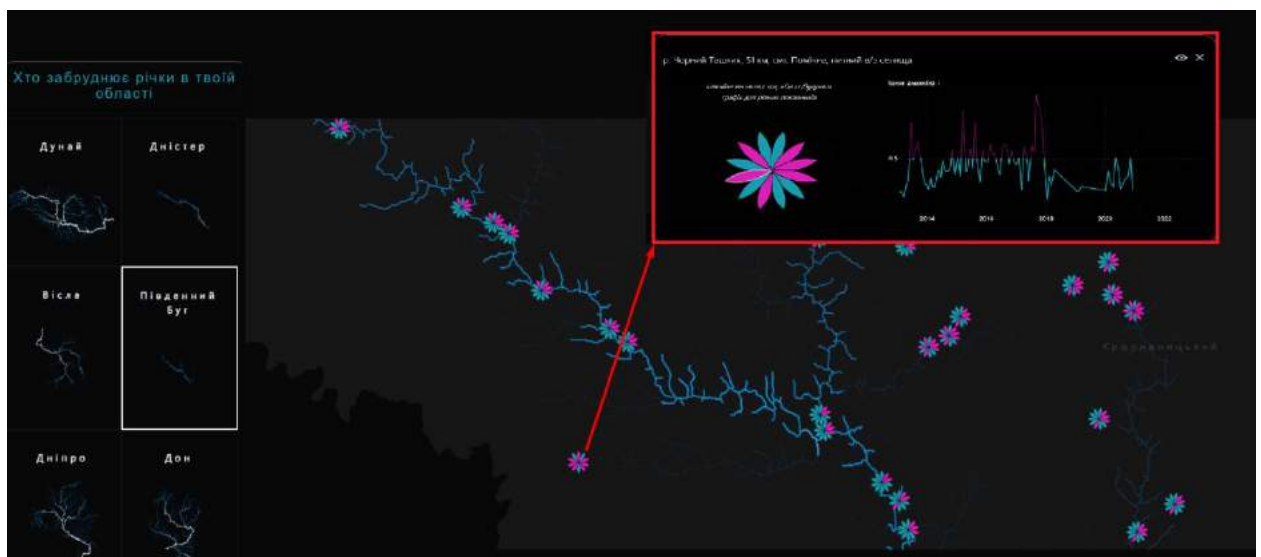


Рисунок 2.6 – Інтерактивна карта забрудненості річок в Україні на основі даних Державного агентства водних ресурсів [11]

Незважаючи на значне зростання кількості повідомлень про великі повені та економічних збитків, спричинених повенями в Європі за останні

десятиліття, досі не виявлено жодної значної загальної тенденції, пов'язаної з кліматом, щодо екстремально високих витрат води в річках, які спричиняють повені. Хоча поки що немає доказів того, що екстремальні паводки останніх років є прямим наслідком зміни клімату, вони можуть дати уявлення про те, чого можна очікувати: прогнозується, що частота та інтенсивність паводків у значній частині Європи зростатиме. Зокрема, зливові паводки та повені в містах, спричинені локальними інтенсивними опадами, ймовірно, стануть частішими по всій Європі.

## 2.1 Вплив повеней на економіку країни

Повені мають комплексний і важливий вплив на економіку країни, викликаючи ряд негативних наслідків та витрат.

Однією з ключових сфер, яка страждає від повеней, є інфраструктура. Затоплення міст, доріг та залізниць призводять до серйозних економічних втрат. Наприклад, повені можуть призвести до зруйнування мостів, що змушує уряд залучати значні кошти для їх відновлення.

Населені пункти та житловий фонд також стають жертвами повеней. Евакуація громадян, втрати житла та втрати особистого майна — усе це ставить під загрозу стабільність економічного сектору та суспільства в цілому. Промисловий сектор також не залишається осторонь. Зупинка виробництва через затоплення промислових підприємств призводить до великих втрат обсягів виробництва та прибутковості.

Втрати у різних галузях економіки призводять до загального зменшення економічної активності та прибутку країни. Це може вплинути на інвестиційний клімат, зменшуючи інтерес інвесторів до розвитку бізнесу в умовах високого ризику.

Фінансові ринки також піддаються впливу. Руйнування фінансової інфраструктури, зниження рейтингів ризику та загальне знецінення

економічних активів створюють нестабільність на ринках та можуть викликати довгострокові економічні турбулентності.

Повені можуть вплинути на туристичну галузь. Затоплення туристичних об'єктів та природних красот може вплинути на туристичний потік та призвести до втрат для галузі туризму.

Україна, виступаючи важливим світовим постачальником ресурсів первинного сектору економіки, спеціалізується на сільському господарстві та видобутку корисних копалин. Ці сектори взаємодіють, формуючи стійку основу для економічного розвитку, але водночас стають дуже вразливими перед природними катастрофами, особливо перед повенями.

### 2.1.1 Сільське господарство

Сільське господарство, яке є однією з основ української економіки, найбільше страждає від повеней. Затоплення сільських угідь може спричинити втрати врожаю та призвести до економічних труднощів для сільських господарств.

У сільському господарстві фермери вирощують не лише продукти харчування для місцевого споживання, але і для експорту. Сої, рапсу, зернові культури, а також велика кількість інших сільськогосподарських продуктів виробляються для задоволення потреб світового ринку. Затоплення може призвести до значних втрат врожаю, який використовується як сировина для харчової та промислової продукції. Крім того, знищення інфраструктури для обробки та зберігання може важко позначитися на продовольчій безпеці та доступності продуктів для споживачів.

Під час повеней фермери України зазнають серйозної шкоди, яка суттєво впливає на їхнє господарство та врожайність. Затоплення може призвести до втрат врожаю через підтоплення полів та розмиття посівів. Природні катастрофи також можуть спричинити зруйнування інфраструктури для обробки та зберігання сільськогосподарської продукції (рис. 2.7).



Рисунок 2.7 – Затоплення сільськогосподарських угідь у результаті підриву Каховської ГЕС

Фермерські угіддя, які перебувають під водою, стають непридатними для вирощування культур, що призводить до значних економічних втрат для господарств. Пошкодження іригаційних систем та інфраструктури поливу може вплинути на якість та кількість вирощуваних культур, що додатково ускладнює відновлення врожайності.

Загалом, повені мають негативний вплив на фермерське господарство, призводячи до збитків врожаю, псування сільськогосподарської інфраструктури та створюючи труднощі для фермерів у відновленні своїх господарств. Забезпечення належних заходів захисту та попередження перед природними лихами стає надзвичайно важливим для забезпечення сталого розвитку сільського господарства в умовах нестабільного клімату.

### 2.1.2 Видобуток корисних копалин

Видобуток корисних копалин, таких як вугілля, залізна руда та інші, відіграє ключову роль у промисловому виробництві та постачанні сировини.

У видобувних виробництвах затоплення може призвести до зупинення роботи шахт та інших видобувних об'єктів. Повінь або раптове потрапляння води в шахту – не така вже й рідкість (рис. 2.8).



Рисунок 2.8 – Затоплення шахт на Донбасі: ш. Родіна, ш. Первомайська, ш. Голубівська

Фактично, є чотири способи, якими надмірна вода може потрапити в шахту і спричинити проблеми:

- Зливові паводки - коли зливові дощі або набряклі струмки та річки скидають велику кількість води у вхід до шахти. Цей швидкий приплив води може заманити шахтарів у пастку, блокуючи шляхи евакуації. Вода осідає в низинах шахтного тунелю або штреку.

- Видобуток корисних копалин у сусідній занедбаній шахті, яка затоплена, є ще одним фактором що спричинити повінь. Експерти з безпеки кажуть, що це рідкісний, але цілком попереджуваний тип повеней. Старі шахти можуть бути погано картографовані, а це означає, що межі точно не відомі. Видобуток корисних копалин поруч з одним із цих об'єктів може бути небезпечним, якщо нові гірничі виробки увірвуться в стару шахту, яка буде затоплена. Цього можна уникнути, пробуривши вперед невеликий зонд, який може оголити можливий затоплений штрек у сусідній шахті, щоб не піддавати затоплену зону впливу новодобутої території.

- Інший спосіб, у який шахта може піддатися затопленню – це коли вугільний шлам або відходи гірничодобувної промисловості, що залишилися, не утримуються належним чином у водосховищі (насипна ділянка, на якій

зберігається суміш мінералів і води, що залишилася після видобутку корисних копалин). Якщо це водосховище вийде з ладу, шлам також може потрапити в шахту і швидко затопити її.

– Шахти також можуть бути затоплені внаслідок видобутку корисних копалин під водоносним горизонтом, наприклад озером, коли земля над шахтою пошкоджена внаслідок гірничодобувної діяльності.

Зазвичай в одному з цих чотирьох сценаріїв вода швидко потрапляє в шахту, відрізаючи гірникам шляхи евакуації. Вугільні шахти особливо вразливі до повеней через їхнє відносно плоске розташування. Потрапляючи всередину, вода стікає в найнижчу точку, блокуючи шлях евакуації. Гірничим інженерам постійно нагадують про необхідність передбачити кілька незалежних шляхів евакуації для шахтарів, щоб вони не опинилися в пастці в подібних випадках.

## 2.2 Загрози від повеней у нинішніх умовах

За нинішніх умов, велику небезпеку складають міни що зараз знаходяться на значній території країни. Але через фізичні умови, міни не можуть плавати, їх щільність занадто висока для цього, тому рух мін може відбуватися тільки за умов, у яких рухається земля під міною, або повінь рухається занадто швидко, створюючи хвилю що посує міну. За таких умов існує ризик детонації міни, так що їх рух є важливим питанням, від якого залежить життя багатьох людей під час повені.

Усі ці аспекти призводять до необхідності великих витрат на відновлення та реабілітацію. Наприклад, після повеней влада змушена виділяти кошти на відновлення зруйнованих об'єктів та підтримку економічного відновлення. Загалом, економічний вплив повеней на країну є значним і вимагає комплексних стратегій попередження, реагування та відновлення для забезпечення стійкості та сталого економічного розвитку.

### 2.3 Попередження та боротьба з повінню

Попередження та боротьба з повінню – це невід’ємна складова ефективного водного управління та безпеки населення. Існують різні стратегії та заходи, спрямовані на зменшення ризиків виникнення повеней та обмеження їхніх наслідків.

Попередження повеней включає:

- Моніторинг і прогнозування: Ефективний моніторинг рівня води в річках та інших водоймах, а також вчасне прогнозування погодних умов, можуть допомогти вчасно реагувати на можливі загрози повені. Використання сучасних технологій, таких як супутникові системи та датчики, робить цей процес більш точним.

- Регулювання водостоку: Контроль за водоспоживанням та регулювання витрат води можуть допомогти у мінімізації ризиків повеней. Зберігання та управління водними ресурсами ведуть до більш стійкого гідрологічного режиму.

- Будівництво захисних споруд: В будівництві захисних дамб, гребель та інших інфраструктурних об’єктів може зменшити загрозу повеней. Однак важливо враховувати екологічні аспекти та місцеві особливості для забезпечення безпеки.

Боротьба з повінню:

- Ефективне управління водою: Оптимальне використання водних ресурсів та розробка систем водоспоживання можуть зменшити можливість виникнення повеней.

- Зелені технології та водоочисні заходи: Впровадження екологічно чистих технологій та водоочисних систем сприяє збереженню природних водних систем та зменшенню ризиків забруднення водойм.

- Співпраця із громадськістю: Залучення громадськості до процесу прийняття рішень та виконання заходів може значно підвищити ефективність

боротьби з повенями. Інформування та навчання населення стосовно безпеки в умовах повені – ключовий елемент цієї стратегії.

Найефективнішим є комплексний підхід, який об'єднує технічні, наукові та соціальні заходи. Врахування місцевих особливостей та узгоджена діяльність всіх зацікавлених сторін можуть допомогти мінімізувати ризики та наслідки повеней (рис. 2.9).



Рисунок 2.9 – Приклад облаштування річної долини з метою попередження повені

За останні 20 років Україна пережила значні повені, що призвели до надзвичайних ситуацій. Останні дослідження свідчать про те, що під впливом зміни клімату повторюваність високих паводків в Україні та їхні масштаби збільшаться до кінця цього століття. Однією з сучасних технологій адаптації до екстремальних проявів зміни клімату у водному господарстві є технологія оцінки та картування паводкової небезпеки. Її використання може сприяти запобіганню та зменшенню збитків в економіці України. Технологія оцінки та картографування небезпеки підтоплення використовується для виявлення територій, що піддаються ризику підтоплення, а отже, для покращення управління ризиками повеней та готовності до них. Оцінки небезпеки повеней та зазвичай розглядають очікувані масштаби і глибину затоплення в певній місцевості на основі різних сценаріїв.

Один із прикладів попередження повені, це застосування технологічних та наукових заходів, як приклад, може використовуватись геоінформаційні



технології. Ось деякі можливості ГІС та заходи, які можна вжити для попередження повеней та боротьби з їхніми наслідками:

1. Створення цифрової моделі рельєфу (ЦМР). За допомогою ГІС можна створювати ЦМР, яка вказує висоти та конфігурацію рельєфу. Аналізувати та ідентифікувати області з високим ризиком повеней на основі географічних параметрів.

2. Картографування потенційних зон ризику. Використання ГІС для створення карти потенційних зон ризику повеней, об'єднуючи дані про рельєф, гідрографію, ґрунти та інші фактори. Візуалізація цих зон для ефективного планування та прийняття рішень.

3. Моніторинг річкових водосховищ та річок. Використання ГІС для аналізу річкових водосховищ та річок, враховуючи їхні розміри, стан та інші важливі параметри. Застосування геопроектингу для визначення зон, де може виникнути збільшення рівня води.

4. Визначення евакуаційних маршрутів. За допомогою ГІС визначення оптимальних евакуаційних маршрутів на основі географічних умов та додавання їх до карт. Розробка плану евакуації та використання цієї інформації для ефективного керування кризовими ситуаціями.

5. Моделювання потенційних сценаріїв повеней. Використання гідродинамічної моделі та відображення водних потоків для прогнозування можливих сценаріїв повеней. Аналіз факторів що можуть впливати на розподіл води та розробка стратегії управління ризиками.

6. Забезпечення доступу до географічної інформації. Створення онлайн-карти з використанням ГІС для спільного використання актуальних даних та взаємодії з громадою та органами влади. Забезпечення доступу до карт та інформації про ризики для широкого кола зацікавлених сторін.

Використання ГІС у поєднанні з актуальними геопросторовими даними може значно полегшити попередження повеней та управління їхніми наслідками, надаючи зручний інструмент для аналізу та прийняття рішень.

## РОЗДІЛ 3 АНАЛІЗ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ, ПОВ'ЯЗАНИХ З ПІДТОПЛЕННЯМИ У ARCGIS PRO

У даному розділі буде проведено аналіз ризиків та наслідків повенеких подій, а також впроваджено методику моделювання надзвичайних ситуацій за допомогою ArcGIS Pro. Із застосуванням передових технологій геопросторового аналізу та візуалізації, було розглянуто складні взаємозв'язки та визначимо ефективні стратегії управління та мінімізації негативних наслідків надзвичайних ситуацій, пов'язаних із підтопленнями.

### 3.1 Визначення області дослідження

Для проведення дослідження було обрано територію річного басейну річки Сули, що є лівою притокою Дніпра і, відповідно, належить до його басейну (рис 3.1).

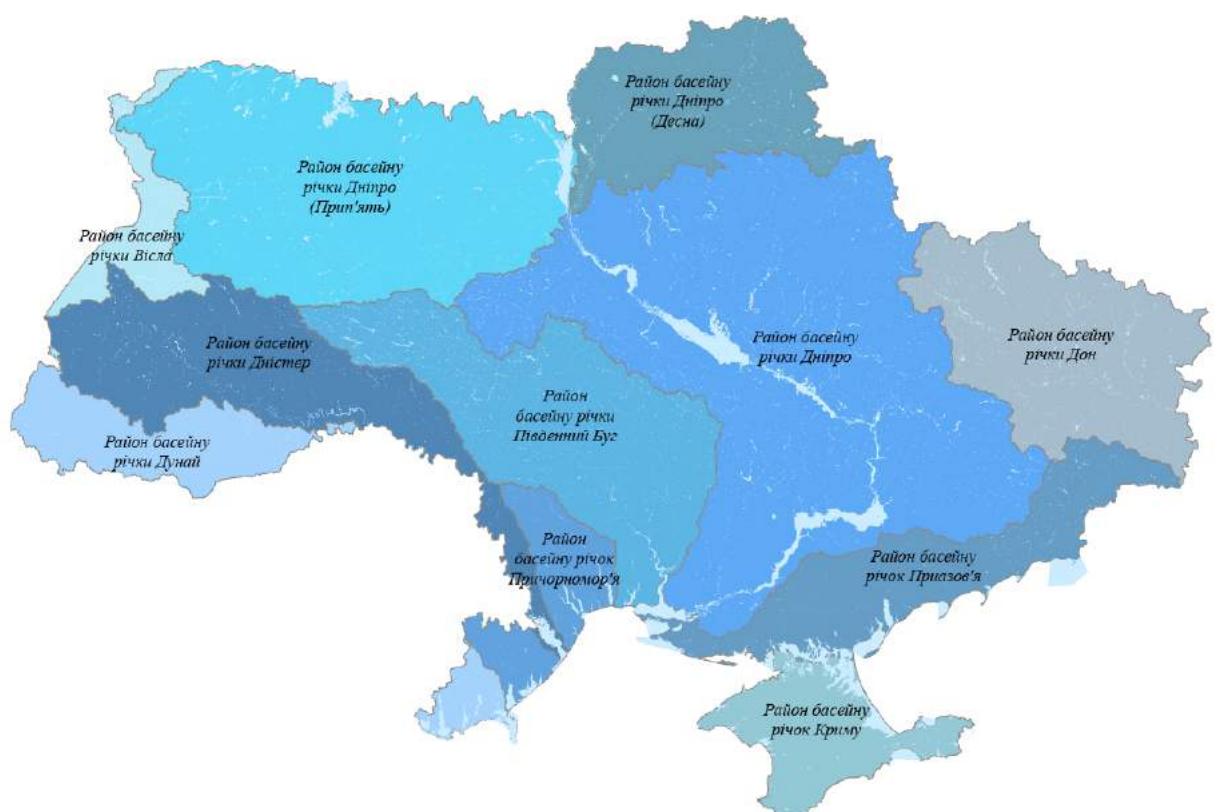


Рисунок 3.1 – Річкові басейни України

Сула – типова рівнинна і середня за довжиною річка України, ліва притока Дніпра, належить до басейну Чорного моря. Витік річки знаходиться на південно-західних схилах Середньоруської височини біля села Сула (Сумський район Сумської області, Україна). Висота витoku – 155,2 м над рівнем моря. Тече у західному напрямку по території Сумського та Роменського районів Сумської області протягом 152 км. Далі повертає на південний захід та протікає територією Миргородського, Лубенського та Кременчуцького районів Полтавської області протягом 213 км. Перетинаючи Полтавське плато та Придніпровську низовину, впадає до Дніпра (Кременчуцьке водосховище) на відстані 628 км від гирла останнього, біля села Дем'янівка (Кременчуцький район Полтавської області), утворюючи дельту з численними островами. По дельті протягом 11 км проходить кордон Полтавської та Черкаської областей. Більша частина нижньої течії та дельти покрита плавнями (рис. 3.2).

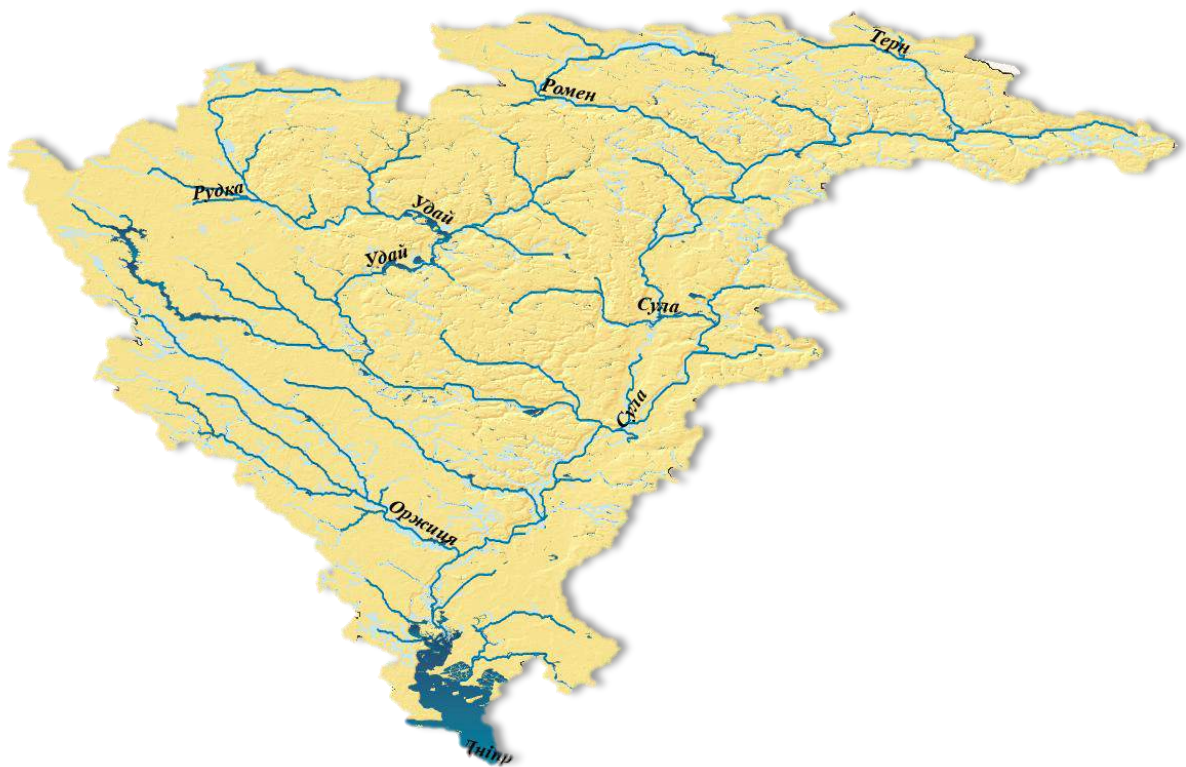


Рисунок 3.2 – Річковий басейн Сули

Після закінчення будівництва Кременчуцького водосховища довжина Сули скоротилася на 52 км (з 415 км до 363 км), площа басейну річки скоротилася з 19,6 тис. км<sup>2</sup> до 18,5 тис. км<sup>2</sup>. Внаслідок затоплення повністю зникла права притока — Ревуча (11 км), а колишня ліва притока Сули — Крива Руда (55 км) нині впадає безпосередньо в Дніпро. Сула має 20 приток: 9 лівих приток і 11 правих приток.

Ухил річки – 0,2 м/км. Течія швидка, його швидкість місцями сягає 0,6 км/год. Середня витрата води – 29 м<sup>3</sup>/с. Льодостав із середини грудня до другої половини березня. Живлення річки змішане, яке складають дощові, снігові, підземні води. Завдяки холодним підземним джерелам вода у річці прозора, її середня літня температура на 3°C нижча, ніж у інших річках. Вода багата мінералами та йодом. Стік Сули найвищий на весні, коли тануть сніги, найнижчий взимку. Під час весняної повені проходить до 80 % річного стоку. Весняна повінь триває 1 – 1,5 місяця. Крім весняної, трапляються паводки літні, спричинені рясними атмосферичними опадами.

Вода використовується для зрошення та водопостачання. Судноплавна на 161 км. від гирла до міста Лубни. Вздовж русла Сули розташовано понад 30 населених пунктів, що створює значне антропогенне навантаження на русло річки та прилеглі території. Річки історично були важливою умовою заснування та розвитку міст. Важливість наявності річки полягала у доступності необхідної кількості води як питних, так господарських потреб. Сула є джерелом прісної води, яку населення може використати у своїх потребах. Люди, які мають житло поблизу річки, роблять забір води в сільськогосподарських цілях, для зрошення власних ділянок, а також рекреаційних цілях. Дуже популярне рибальство. Забудова території берегової лінії, створення мостів через русло річки, скидання відходів або сміття, що призводить до створення заторів течії. Найчастіше сміття накопичується в руслі річки, утворюючи перешкоду, та подальший прохід водних мас сповільнюється. Така дія призводить не тільки до погіршення якості води в річці, але й замулювання дна завдяки розкладу сміття і відходів, які

накопичуються. Також може призводити до затоплення та повені у разі випадання великої кількості опадів за короткий час. Ймовірність затоплення найбільш висока у весняний сезон повені, також ймовірність підвищується в літній сезон у зв'язку з випаданням великої кількості дощових опадів. Більшість підвищень рівня води в річці мають відносно слабкі наслідки. Не відбувається затоплення будівель, не завдається великих матеріальних збитків, вдається уникнути людських жертв. Але ситуація швидко змінюється.

### 3.2 Аналіз інформації з відкритих джерел

Для розробки карт ризику та вразливості до затоплення використовувалися вихідні дані, отримані із відкритих джерел. Кожен параметр включав інформацію з різних джерел, що надали деталізовану картографічну основу для аналізу та моделювання (табл. 3.1).

Вихідні дані про опади були отримані з CHRS Data Portal, надаючи інформацію щодо розподілу та інтенсивності опадів в розглядуваній області.

Цифрові моделі рельєфу від USGS використовувались для аналізу та оцінки впливу рельєфу на потенційні ризики та шляхи розповсюдження води під час затоплення.

Дані про землекористування від Copernicus Global Land Service надали інформацію про характеристики території, її використання та ступінь вразливості до затоплення.

Інформація про типи ґрунтів з FAO/UNESCO була використана для визначення водопроникності та здатності ґрунтів утримувати воду.

Дані HydroSHEDS включали в себе гідрографічну мережу, річкові системи та інші гідравлічні параметри, що були важливі для визначення шляхів потенційного розповсюдження води.

Дані OpenStreetMap (OSM) були використані для отримання інформації про транспортну мережу, включаючи автомобільні дороги та залізниці, що може впливати на евакуацію та доступ до областей затоплення. Інформація

про забудову, отримана також з OpenStreetMap, була використана для визначення ступеня вразливості будівель та інфраструктури до затоплень. Демографічні дані від Humanitarian Data Exchange (HDX) були використані для оцінки кількості населення та потенційного впливу населених пунктів (табл. 3.1).

Таблиця 3.1 – Вихідні данні з відкритих джерел

№	Параметри аналізу	Роздільна здатність	Рік отримання	Логотип	Джерело даних
1	Опади (мм)	0.25°x 0.25°	Near real-time with 2 day delay		CHRS Data Portal
2	Ухил, довжина потоку, відстань від потоку, висота	30 метрів	2000		USGS Earth...
6	Землекористування	100 метрів	Updated annually (2019)		Copernicus Global Land Service
7	Тип ґрунту	5 x 5 arc min	2000		FAO/UNESCO
8	Гідрографія	3 arc-second	2021		HydroSHEDS
9	Транспортна мережа	2-5 м	2004-2024		OSM
10	Забудова	2-5 м	2004-2024		OSM
11	Населення	100 метрів	2022		HDX

За допомогою цих даних було створено комплексну геоінформаційну базу, яка послужила основою для аналізу та моделювання небезпеки та вразливості до затоплень у вибраній області.

### 3.1.1 Кліматичні умови

Повені можуть виникати внаслідок кількох різних і часто одночасних факторів. Однак однією з найбільших причин повеней, особливо у випадках раптових паводків, є надмірна кількість опадів. Коли опади в низинних районах і містах випадають швидше, ніж може поглинути ґрунт, висота води швидко зростає, що призводить до повеней. Екстремальні опади в руслах річок також сприяють повеням, оскільки вода рухається вниз і виливається з берегів річки на навколишню землю.

CHRS Data Portal – це база даних з високою просторовою роздільною здатністю глобальних даних про погоду та клімат. Ці використовуються для картографування та просторового моделювання. Дані надаються для використання в наукових дослідженнях і пов'язаній з ними діяльності (рис. 3.3).

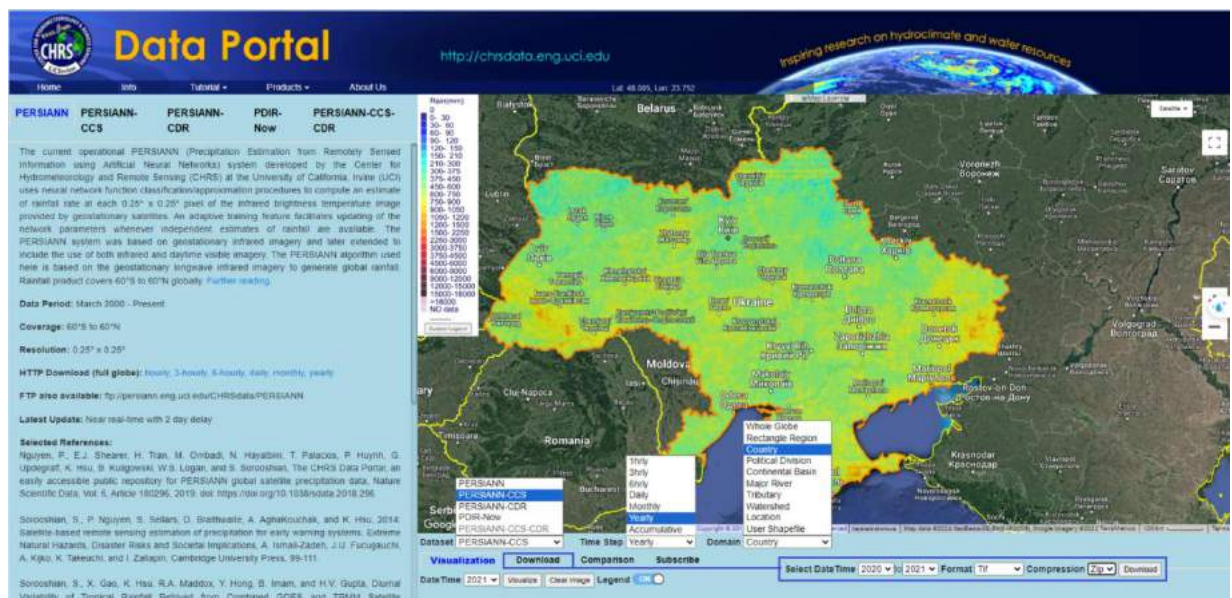


Рисунок 3.3 – Процес завантаження даних з CHRS Data Portal

Отримані данні було завантажено у ArcGIS, обрізані по території дослідження, а саме по межах річкового басейну інструментом Clip Raster. Останнім кроком було налаштовано візуалізацію та додано елементи карти:

стрілка півночі, масштабна лінійка, текст масштабу, легенда та координатна сітка (рис. 3.4).

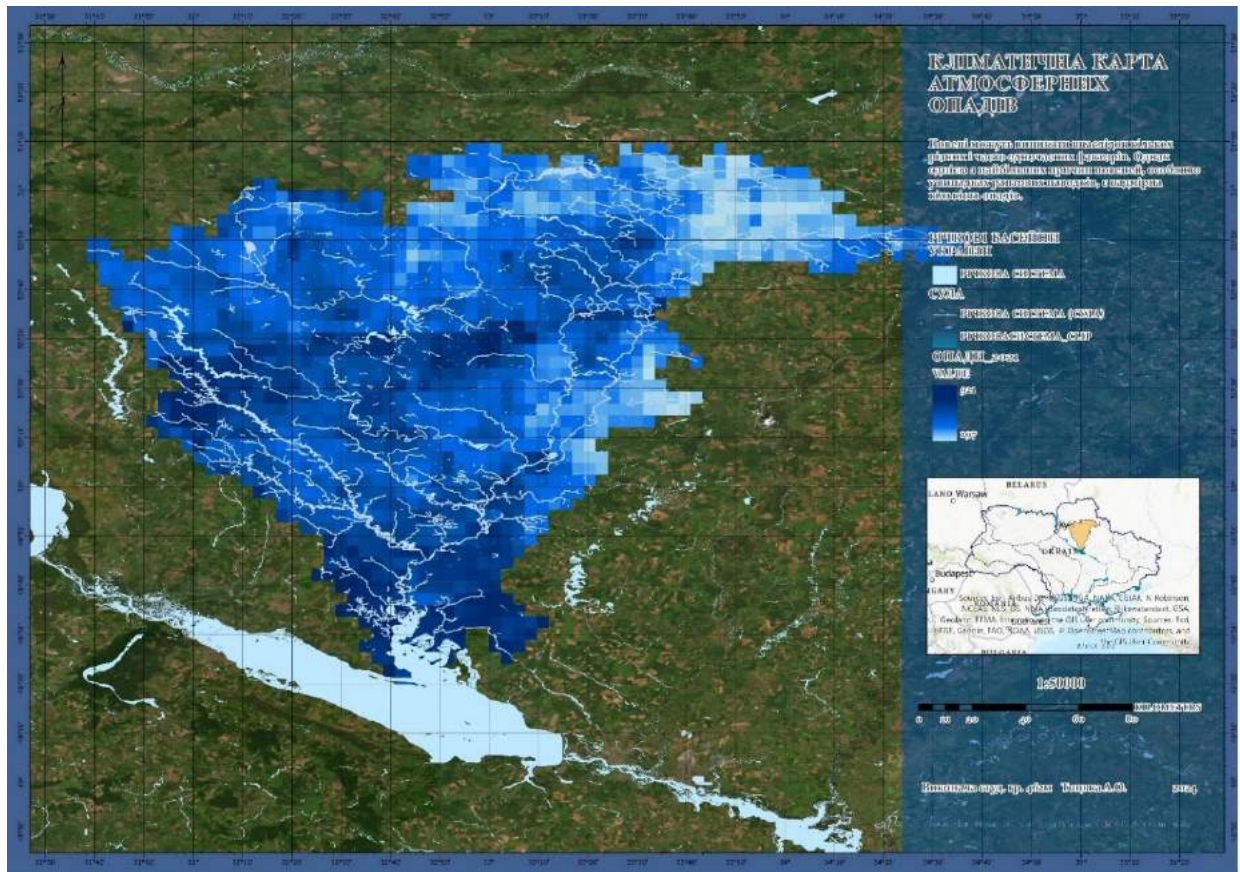


Рисунок 3.4 – Отримана карта атмосферних опадів

### 3.1.2 Висота рельєфу

Цифрова матриця рельєфу, побудована на основі даних радіолокаційної зйомки SRTM. ЦМР на основі даних SRTM є досить детальною і у подальшому буде використана при моделюванні зон можливого затоплення.

Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) – це цифрові дані про рельєф, доступні для 80% території світу. Дані були зібрані радіолокаційною системою, яка була встановлена на борту космічного шаттла Endeavour з 11 по 22 листопада 2000 року. Оскільки ЦМР для місцевостей за межами США знайти набагато важче, дані SRTM є корисними для створення топографічних карт місцевостей за межами США. Дані SRTM можна безкоштовно



завантажити з веб-сайту Геологічної служби США (USGS). На рис. 3.5 показано імпортування даних про рельєф місцевості з району навколо області дослідження.

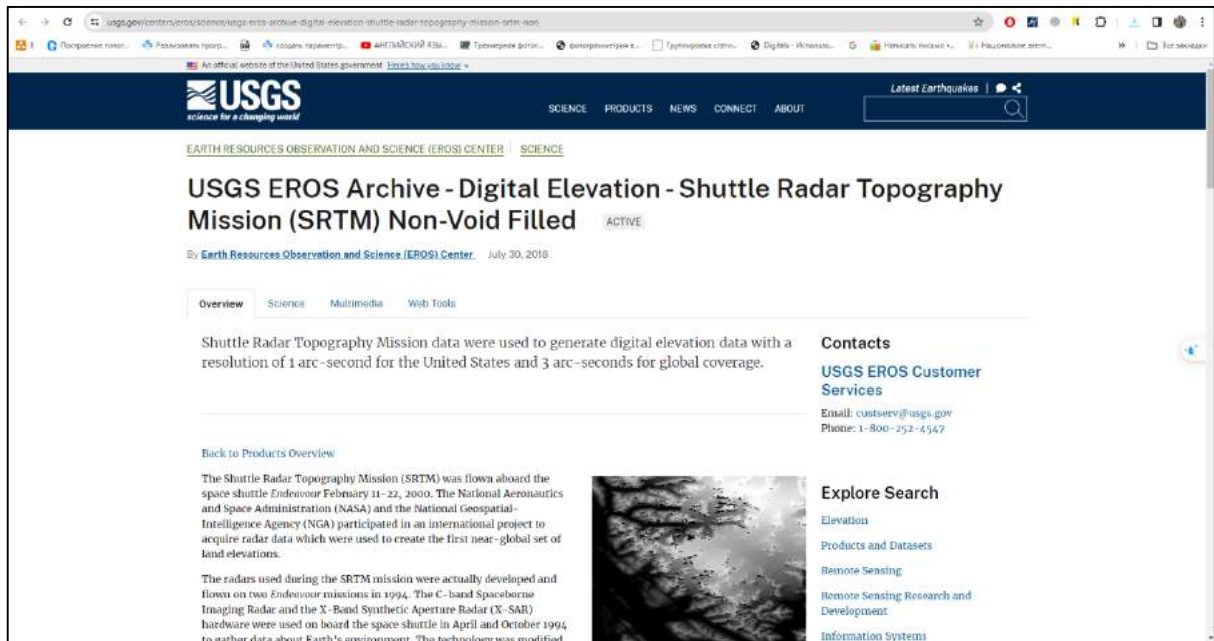


Рисунок 3.5 – Інтерфейс веб-сайту Геологічної служби США (USGS)

Отримані данні було завантажено у ArcGIS, обрізані по території дослідження, а саме по межах річкового басейну інструментом Clip Raster.

Компонування сторінки (часто просто компонування) – це набір елементів карти, певним чином розміщених на віртуальній сторінці для виведення карти на друк. Одним із найцікавіших типів карт є рельєфні карти, які показують топографічні дані, наприклад висоту.

Останнім кроком було налаштовано візуалізацію та додано елементи карти: стрілка півночі, масштабна лінійка, текст масштабу, легенда та координатна сітка (рис. 3.6).

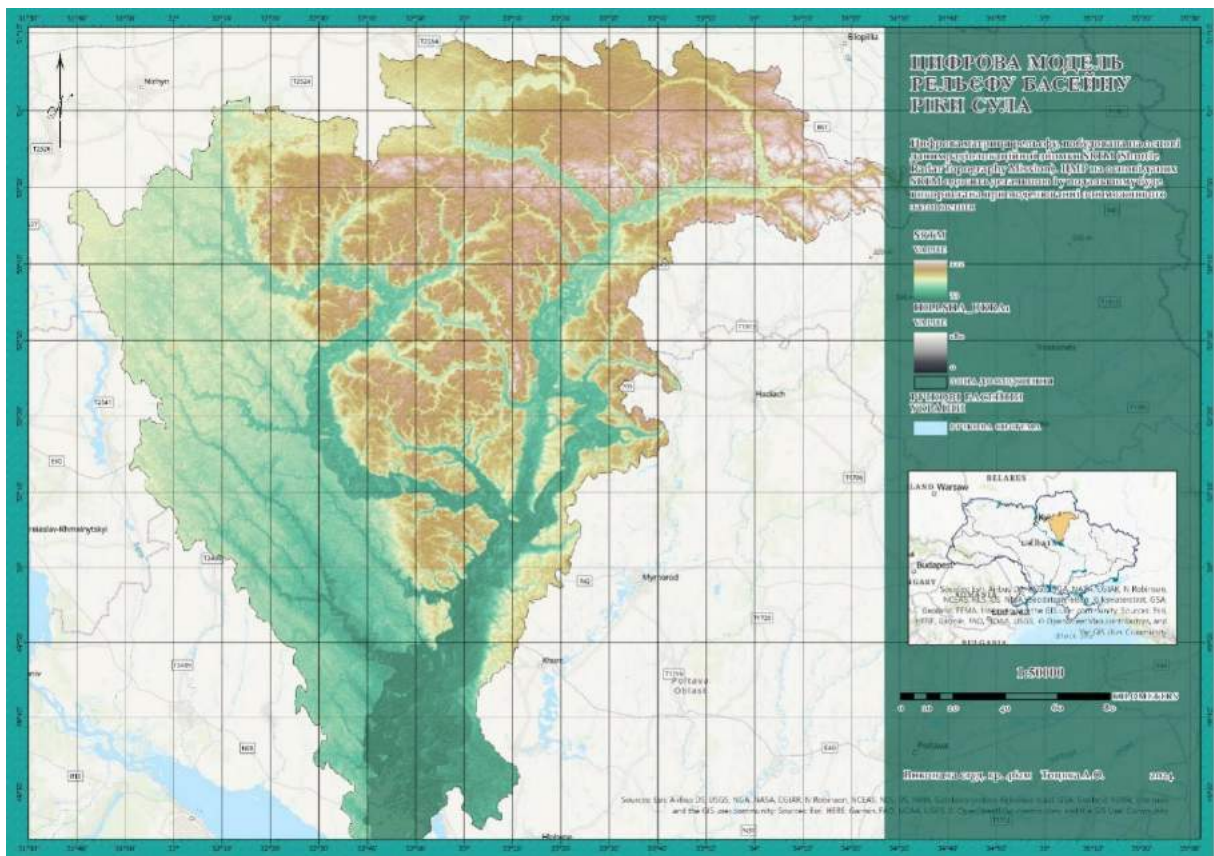


Рисунок 3.6 – Отримана карта цифрової моделі рельєфу

### 3.1.3 Ухил рельєфу

Ухил також вважається ще одним важливим параметром, що провокує повінь. Це має прямий вплив на доступність дренажу та стоку. Інструмент «Нахил» визначає крутизна кожної комірки растрової поверхні. Чим менше значення ухилу, тим рівніший рельєф; чим більше значення ухилу, тим крутіший рельєф.

Вихідний растр нахилу може бути обчислений у двох типах одиниць: градусах або відсотках (підвищення у відсотках). Відсоткове зростання можна краще зрозуміти, якщо розглядати його як зростання, поділене на пробіг, помножене на 100. Інструмент «Нахил» найчастіше запускається на наборі даних висоти, як показано на рис. 3.7.

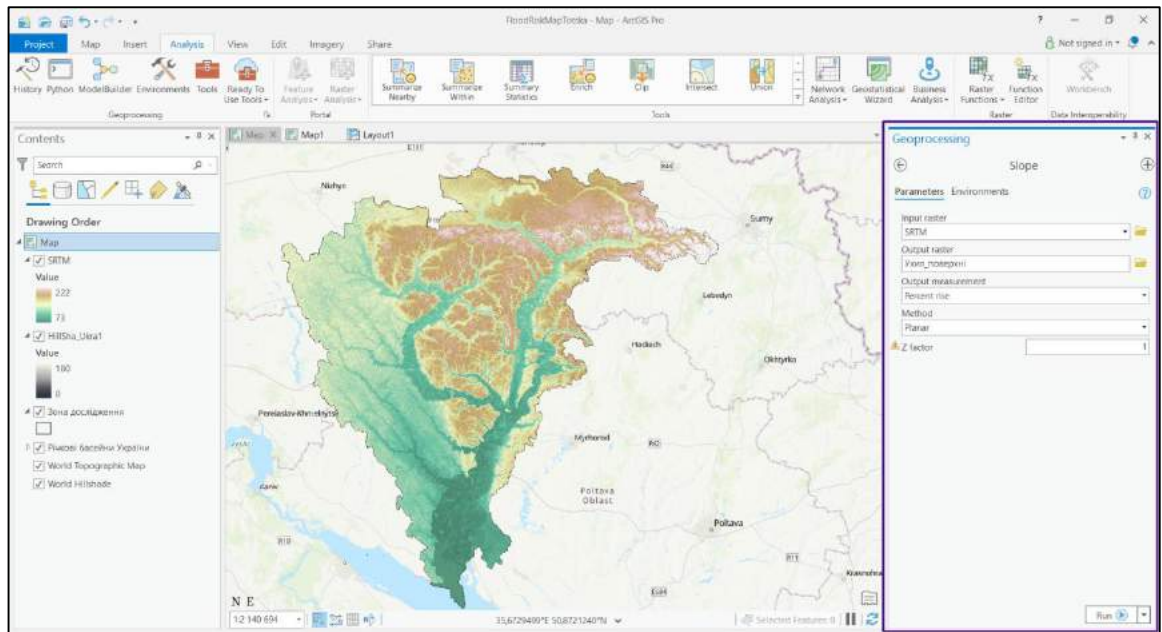


Рисунок 3.7– Процес створення ухилів рельєфу

Отриманий результат побудови ухилів рельєфу зображено на рис. 3.8.

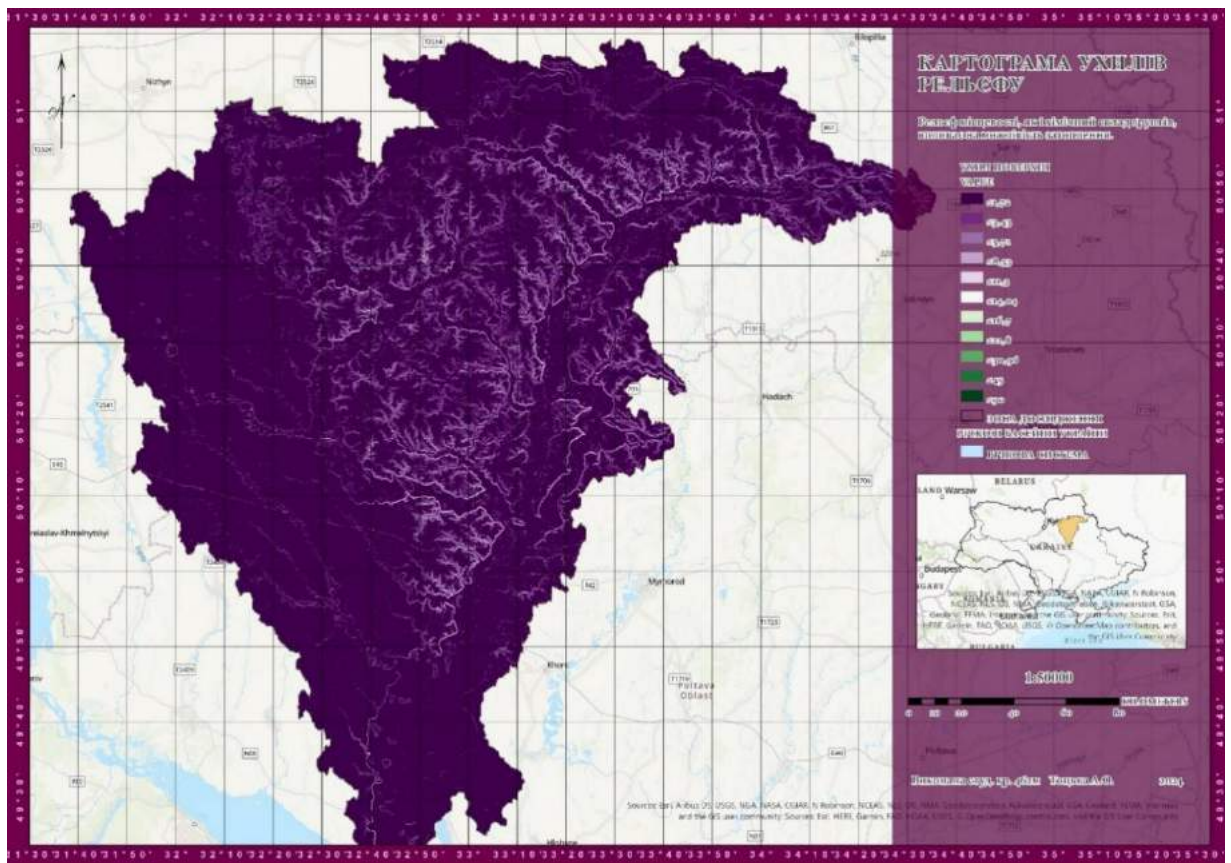


Рисунок 3.8 – Отримана картограма ухилів рельєфу

### 3.1.4 Довжина потоку

Однією з ключових змінних, що призводять до повеней, є щільність стоку, або довжина потоку. Алгоритм розрахунку зображено на рис. 3.9.

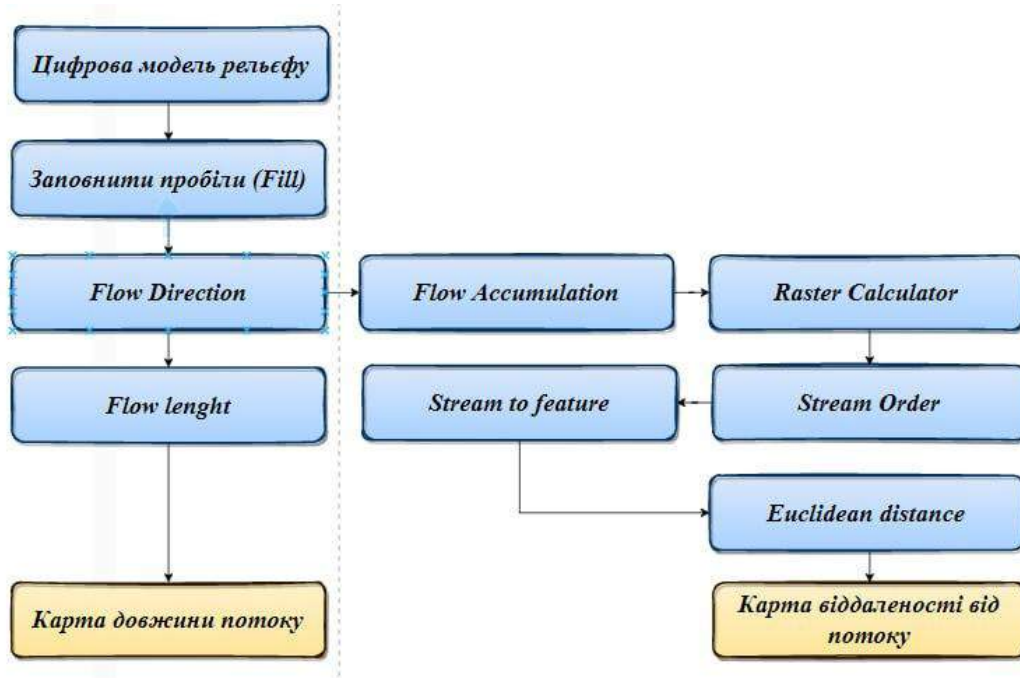


Рисунок 3.9 – Структурна схема отримання растрів віддаленості від потоку та довжини потоку

Швидкість стоку має вирішальне значення при високій щільності дренажу. В результаті збільшується ймовірність затоплення. Першим кроком було заповнено западини в поверхневому растрі, щоб усунути дрібні недоліки в даних [13].

Першим кроком необхідно розрахувати довжину потоку. Для цього було обчислено відстань вище за течією та зважену відстань уздовж шляху потоку для кожної комірки.

Зпершу було заповнено пропуски у цмр за допомогою інструмента «Fill». Принцип роботи зображено на рис. 3.10.

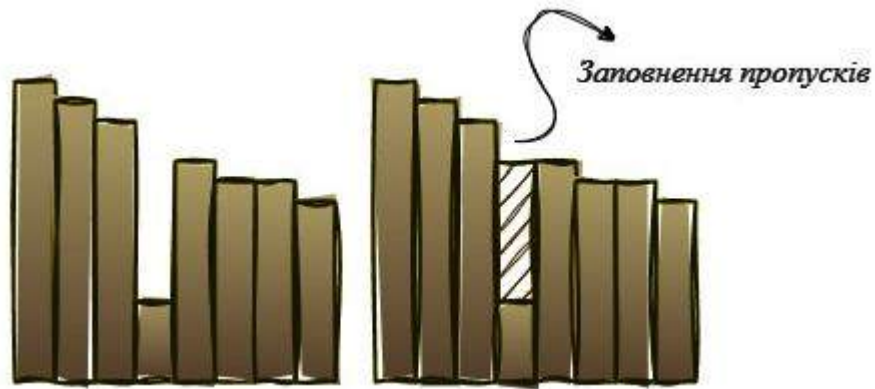


Рисунок 3.10 – Принцип заповнення пропусків у SRTM моделі

У результаті всі пропуски, які нижчі за z-ліміт і нижчі за своїх найнижчих сусідів, були заповнені до висоти своїх точок застигання (рис. 3.11).

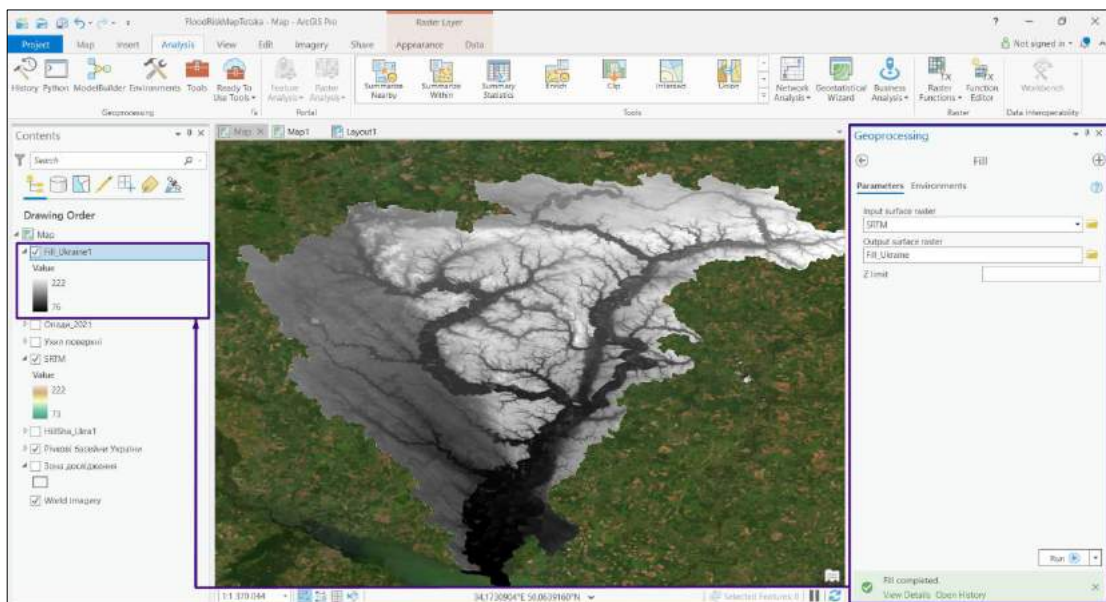


Рисунок 3.11– Результат роботи інструменту Fill Sinks

Одним із ключів до отримання гідрологічних характеристик поверхні є можливість визначити напрямок потоку з кожної комірки в растрі. Це робиться за допомогою інструменту «Напрямок потоку» або Flow Direction. Результат роботи інструмента зображено на рис. 3.12.

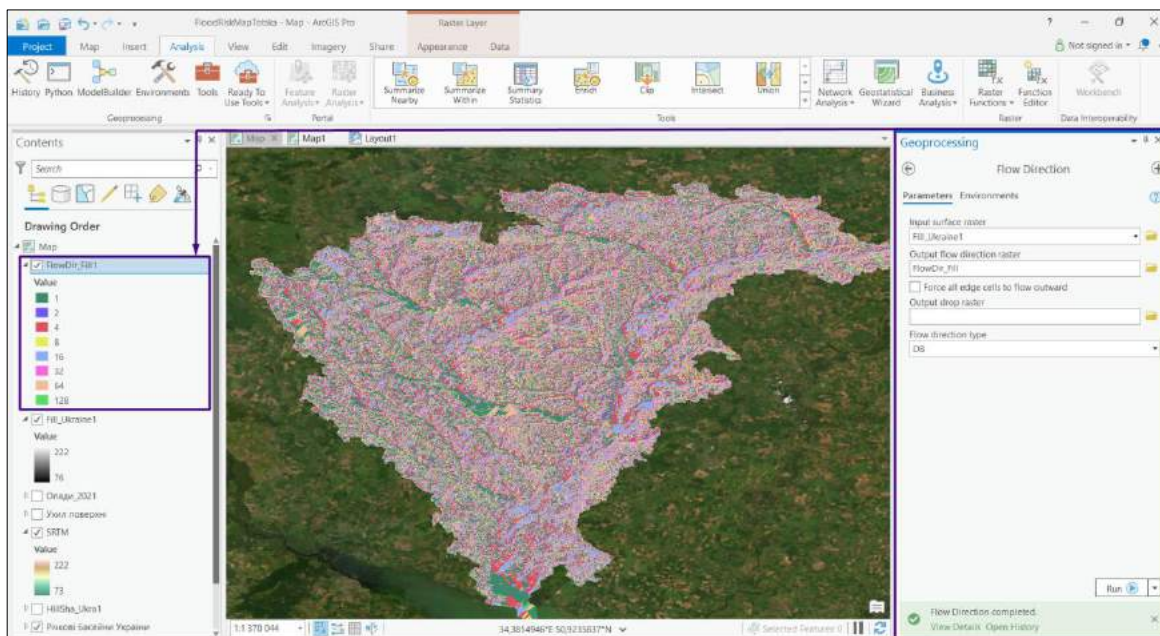


Рисунок 3.12 – Результат роботи інструмента Flow Direction

Далі було застосовано інструмент «Накопичення потоку», що обчислює накопичений потік як сукупну вагу всіх комірок, що надходять у кожну комірку спадного нахилу у вихідному растрі [12].

Якщо ваговий растр не надано, вага 1 застосовується до кожної комірки, а значення комірок у вихідному растрі є кількістю комірок, які входять у кожну комірку. Принцип роботи інструментів Flow Accumulation та Flow Direction зображено на рис. 3.13.

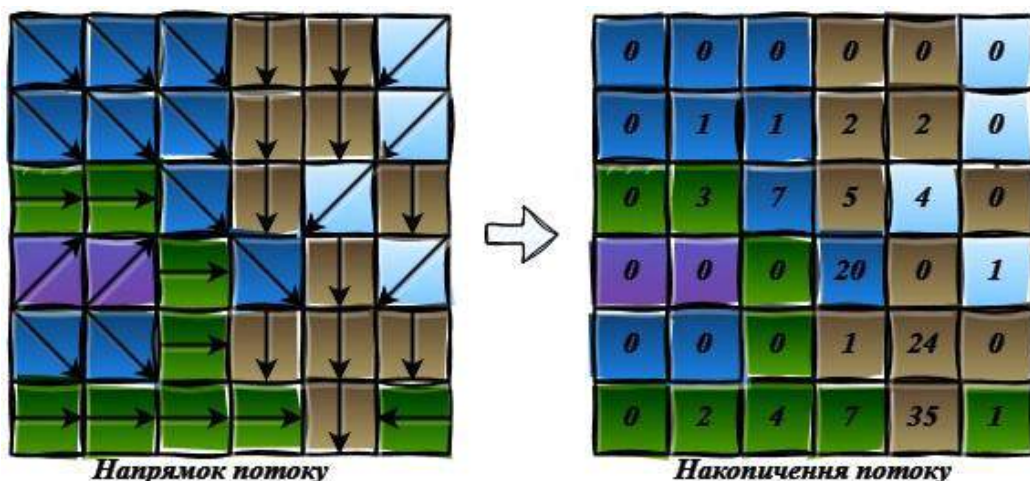


Рисунок 3.13 – Принцип розрахунку растру Flow Direction у Flow Accumulation

Комірки з високим накопиченням потоку є областями концентрованого потоку і можуть використовуватися для ідентифікації каналів потоку. Комірки з накопиченням потоку 0 є локальними топографічними максимумами і можуть використовуватися для ідентифікації хребтів (рис. 3.14).

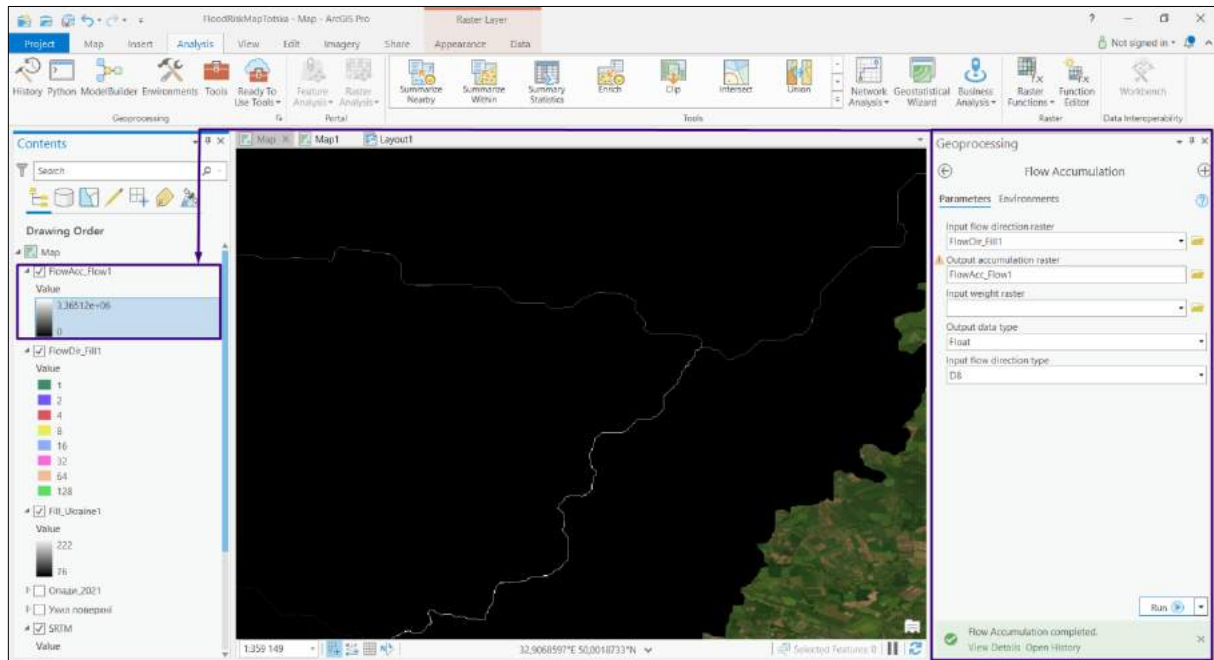


Рисунок 3.14 – Результат роботи інструмента Flow Accumulation

Наступним кроком було застосовано інструмент «Упорядкування потоків». Це метод призначення числового порядку посланням у мережі потоків. Цей порядок є методом ідентифікації та класифікації типів потоків на основі кількості їхніх приток. Деякі характеристики потоків можна визначити, просто знаючи їх порядок.

Наприклад, у водотоках першого порядку переважає наземний потік води; вони не мають верхнього зосередженого потоку. Через це вони найбільш сприйнятливі до проблем забруднення з неточкових джерел і можуть отримати більше користі від широких прибережних буферних зон, ніж інші райони вододілу [14].

Результат роботи інструмента зображено на рис. 3.15.

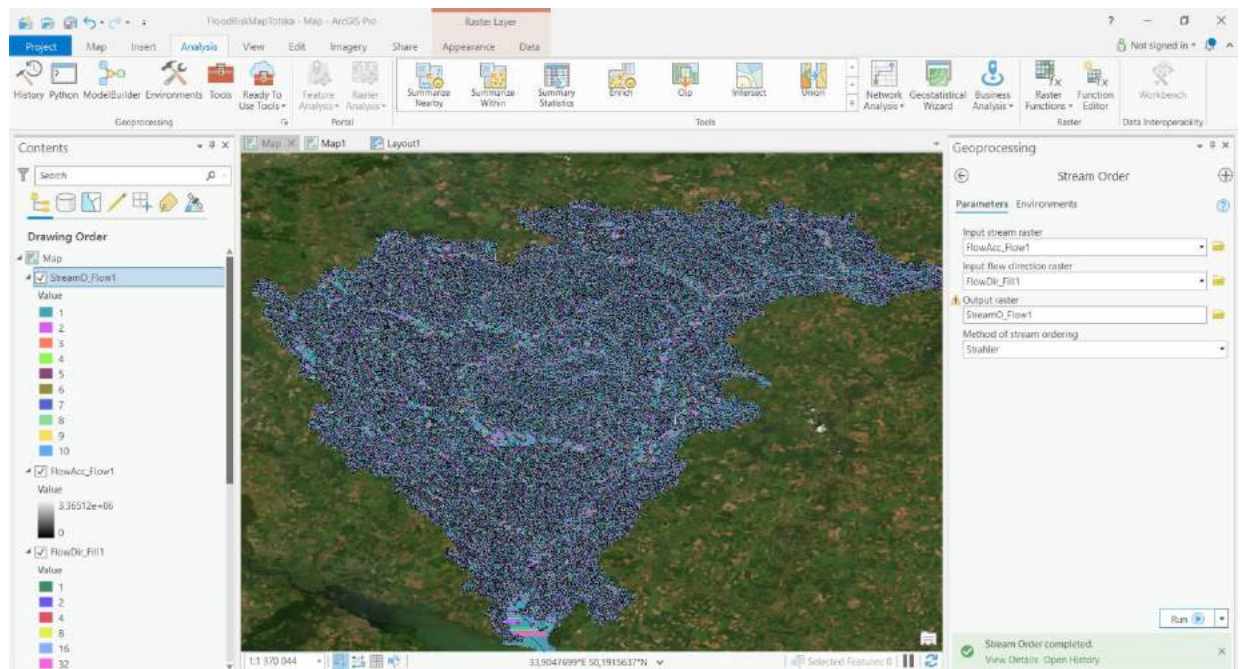


Рисунок 3.15 – Результат роботи інструмента Stream Order

Алгоритм, який використовується інструментом Stream to Feature, призначений головним чином для векторизації потокових мереж або будь-якого іншого растру, що представляє растрову лінійну мережу, для якої відома спрямованість (рис. 3.16) [15].

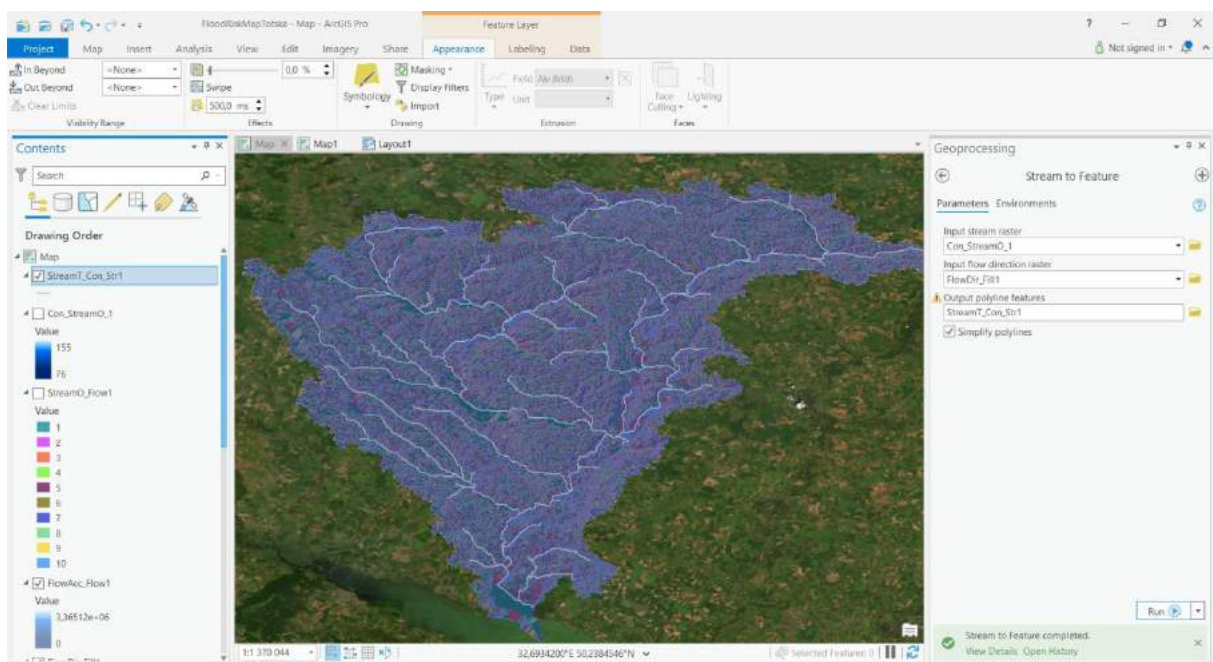


Рисунок 3.16 – Результат роботи інструмента Stream Order



Основним використанням інструменту «Довжина потоку» є обчислення довжини найдовшого шляху потоку в даному басейні. Ця міра часто використовується для розрахунку часу концентрації басейну [16].

У результаті було отримано растр, що демонструє накопичення потоку. Останнім кроком було налаштовано візуалізацію та додано елементи карти: стрілка півночі, масштабна лінійка, текст масштабу, легенда та координатна сітка (рис. 3.17).

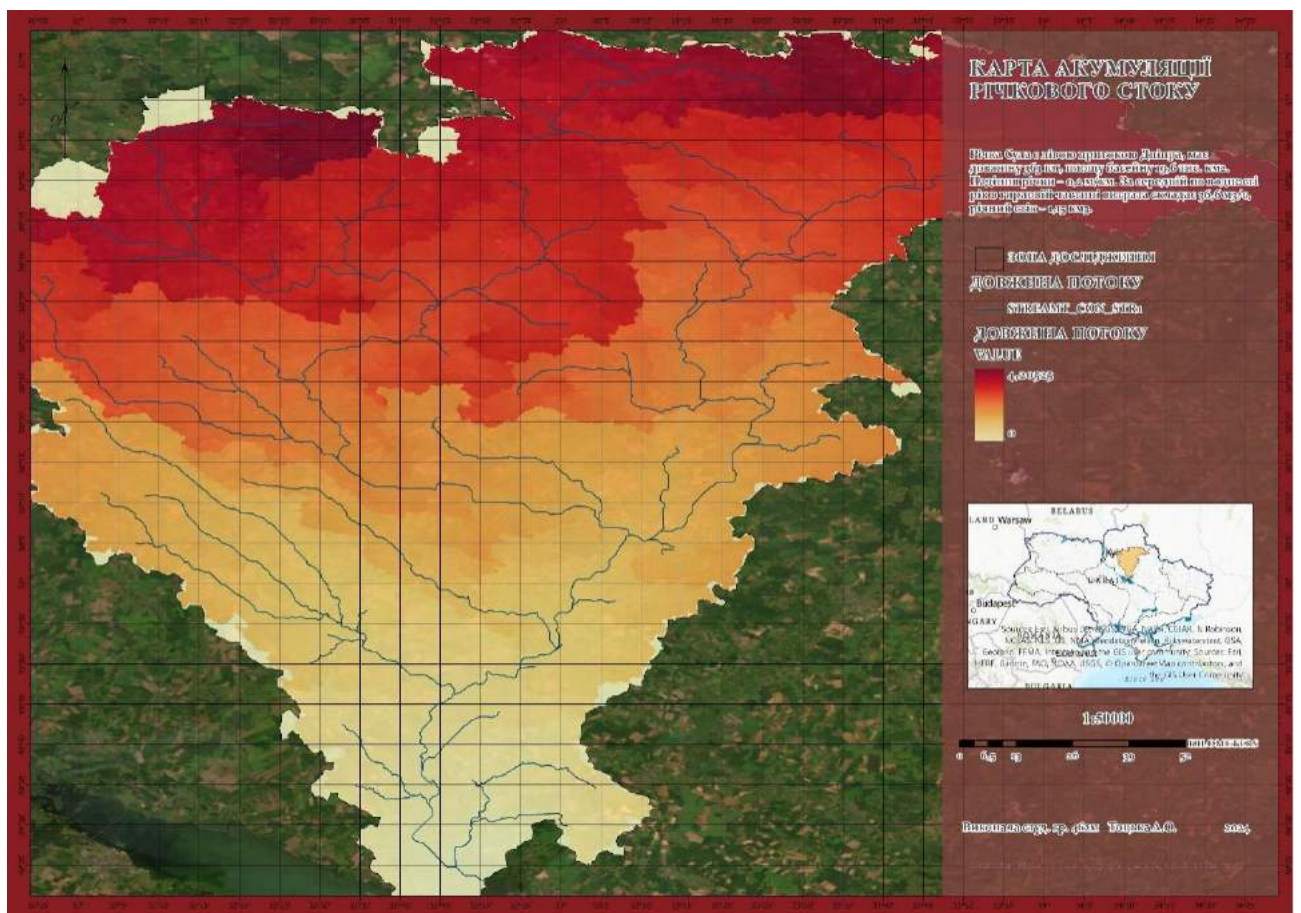


Рисунок 3.17 – Карта акумуляції річного стоку

### 3.1.5 Відстань від потоку

Найближчі до річок зони найбільше страждають від повеней. Для отримання цих відстаней було використано інструмент Евклідова відстань в Інструментах просторового аналітика в ArcGIS (рис. 3.18).

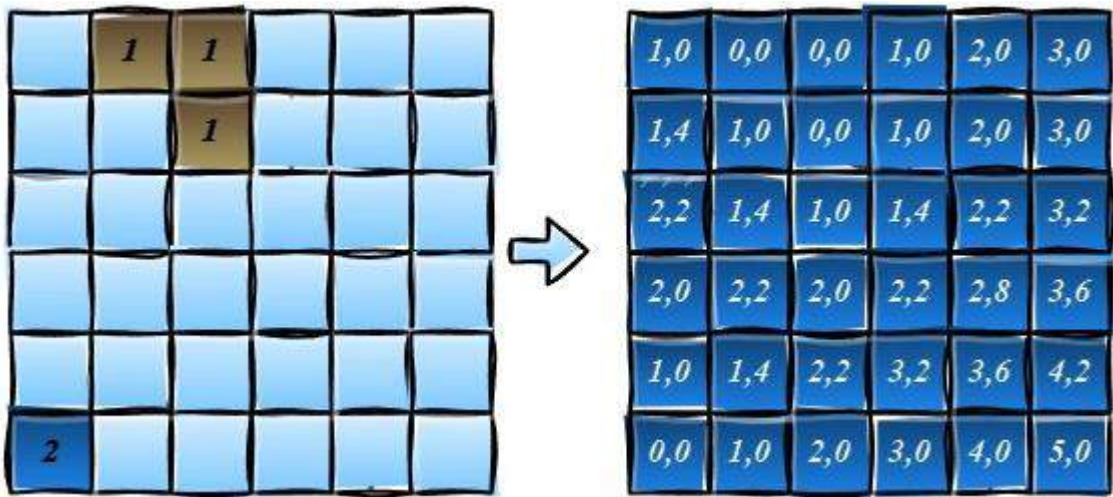


Рисунок 3.18 – Принцип роботи інструмента Евклідова відстань

Результат застосування інструмента на растрі напрямку потоків зображено на рис. 3.19.

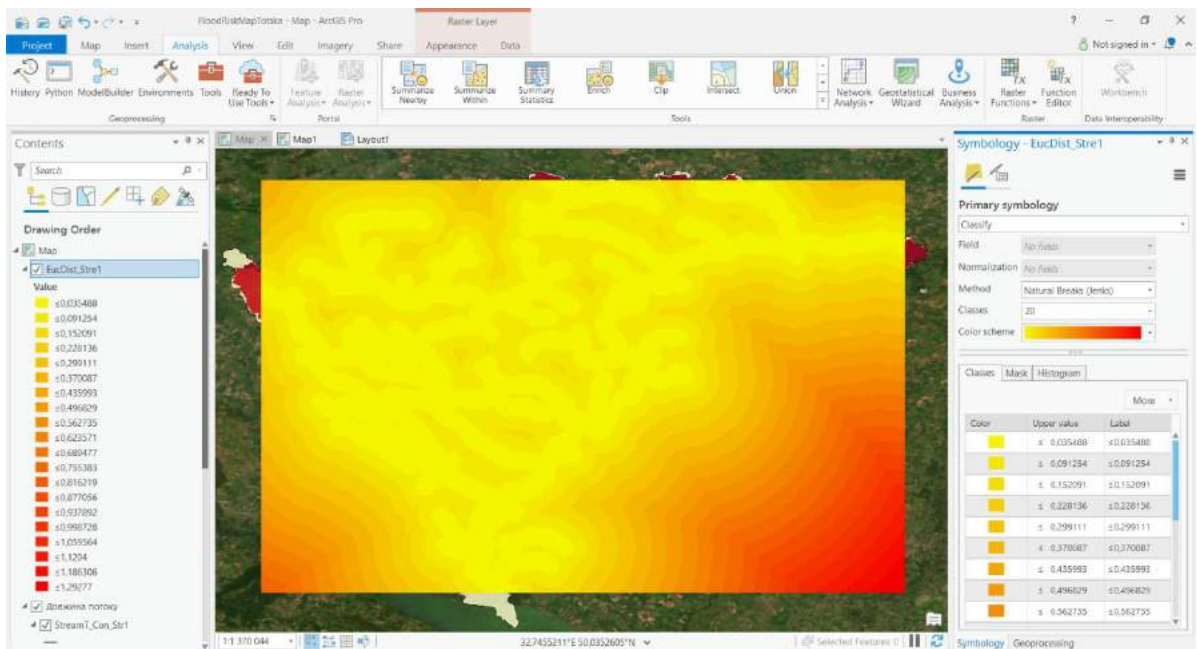


Рисунок 3.19 – Рельтат роботи інструмента Euclidean Distance

Перекласифікація ґрунтувалася на присвоєнні значення 5 територіям, найвіддаленішим від річок, і значення 1 – територіям, розташованим поблизу річок. У результаті було отримано растр, що демонструє віддаленість потоку. Останнім кроком було налаштовано візуалізацію та додано елементи карти:

стрілка півночі, масштабна лінійка, текст масштабу, легенда та координатна сітка (рис. 3.20).

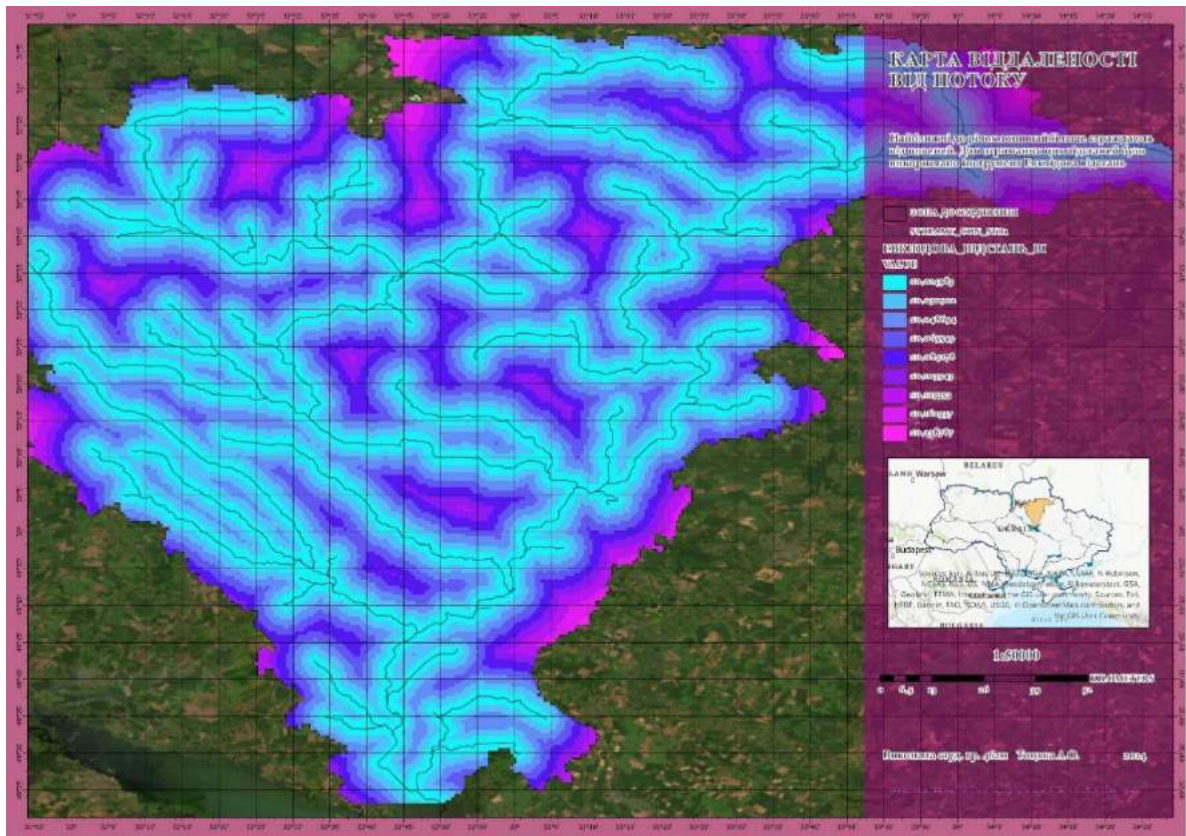


Рисунок 3.20 – Карта відстані від потоку

### 3.1.6 Тип ґрунту

Фізичні, хімічні та біологічні властивості ґрунту відіграють важливу роль у регулюванні наслідків небезпеки, а методи управління можуть негативно чи позитивно впливати на певні властивості.

Характер ґрунту будь-якої місцевості визначає швидкість інфільтрації та величину сухопутного стоку. Ґрунти, що містять велику частку піску, підтримують високу швидкість інфільтрації завдяки наявності порових просторів. З іншого боку, глинисті ґрунти підтримують низьку швидкість інфільтрації, що, в свою чергу, викликає швидкість поверхневого стоку. Досліджувана територія представлена декількома типами ґрунтів, як показано в табл. 3.2 [17].

Таблиця 3.2 – Типи ґрунтів та їх експертні оцінки

Тип	Оцінка	Тип	Оцінка
Лучно-черноземні	4	Буроземно-підзолисті	2
Лучно-болотні	5	Чорноземи реградовані	4
Дерново-підзолисті	1	Лучні	5
Дернові піщані	2	Дернові піщані	1
Чорноземи звичайні	3	Коричневі гірські	2
Чорноземи південні	2	Темно-сірі опідзолені	3

Векторний шар було перетворено у растр. У результаті було отримано растр, що відображає типи ґрунтів. Останнім кроком було налаштовано візуалізацію та додано елементи карти: стрілка півночі, масштабна лінійка, текст масштабу, легенда та координатна сітка (рис. 3.21).

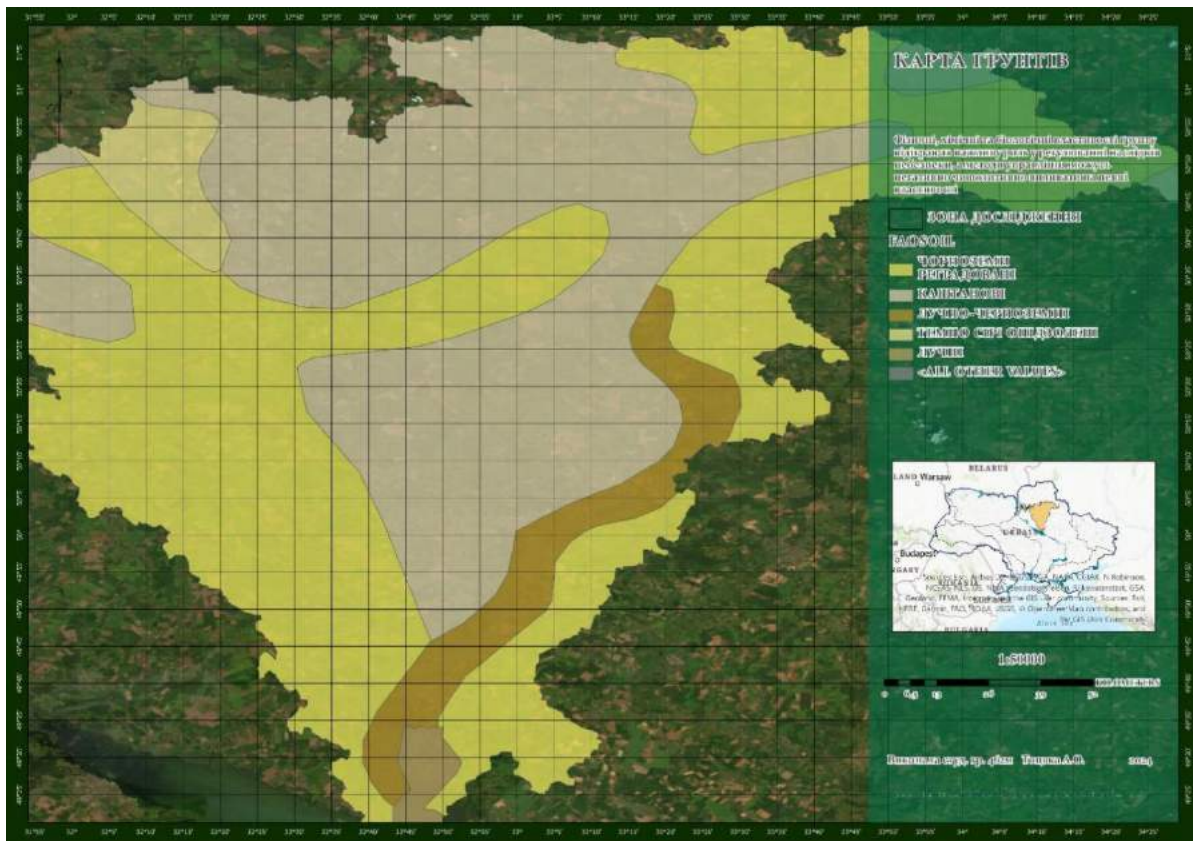


Рисунок 3.21 – Карта ґрунтового покриття

### 3.1.7 Землевикористання

Зміни характеристик опадів – стоку річкового басейну призводять до зміни режимів річкового стоку внаслідок зміни природного землекористування, ґрунтового покриву (табл. 3.3). Дані про землекористування та земельний покрив від FAO/UNESCO показали, що сільськогосподарські угіддя, чагарники, гола земля, забудована територія, водний об'єкт та рослинність охоплюють значну частину досліджуваної території (рис. 3.22) [18].

Таблиця 3.3 – Типи ґрунтів та їх оцінки

Тип	Оцінка	Тип	Оцінка
Широколистяний	2	Чагарник	4
Гола ділянка, укріплена (гравій, камінь)	1	Розріджена рослинність	4
Міська територія	3	Водно-болотне угіддя	5

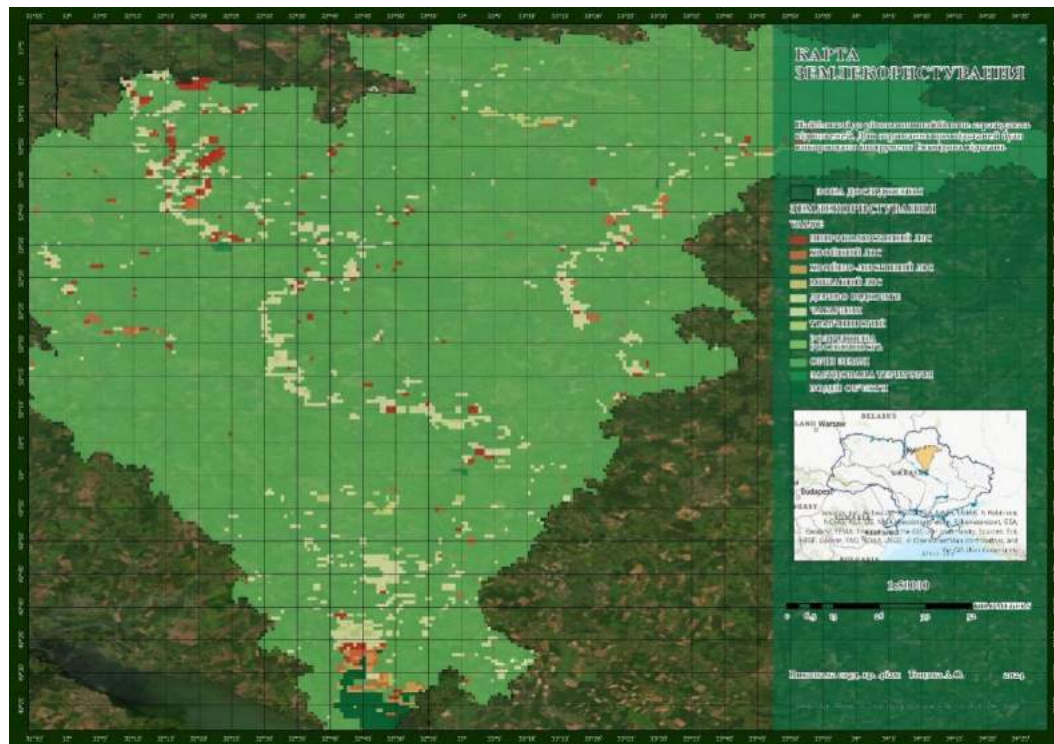


Рисунок 3.22 – Карта землекористування

### 3.3 Перекласифікація растрів

На масштаби затоплення впливають різноманітні фактори, включаючи фізичні особливості рельєфу, кількість опадів, геологію, дренажні системи та текстуру ґрунту. За допомогою огляду літератури та було обрано лише 7 найважливіших параметрів, які сприяють повеням.

Для порівняння їхнього впливу необхідно присвоїти всім картам значення, що можна порівнювати. Наприклад, у ЦМР райони з дуже великими висотами від 222 до 192,2 метрів були класифіковані як такі, що мають дуже низькі наслідки повеней. Класифікація здійснювалась за методом природнього розриву.

Карта щільності дренажу була розділена на п'ять класів. Клас дуже високої небезпеки (3,3-4,2 км/км<sup>2</sup>), клас високої небезпеки (2,5-3,3 км/км<sup>2</sup>), клас помірної небезпеки (0,22-0,25 км/км<sup>2</sup>), клас низької небезпеки (0,16-0,21 км/км<sup>2</sup>) і малозначного ризику небезпеки (0,01-0,08 км/км<sup>2</sup>) відрізняються меншою щільністю стоку, якій менше сприяє затоплення. Класифікація здійснювалась за методом природнього розриву.

Класифікація опадів за шкалою виглядає наступним чином; дуже високий ризик (796-921 мм), високий ризику (671-796 мм), середній клас масштабований 3 (450-524 мм), низький ризик (564-671 мм) і дуже низький клас масштабований 5 (297-481 мм). Класифікація здійснювалась за методом природнього розриву.

Окремий випадок з даними землекористування та ґрунтів, їм було присвоєно значення вручну, як показано у табл. 3.2-3.3. Процес перекласифікації растру зображено на рис. 3.23.

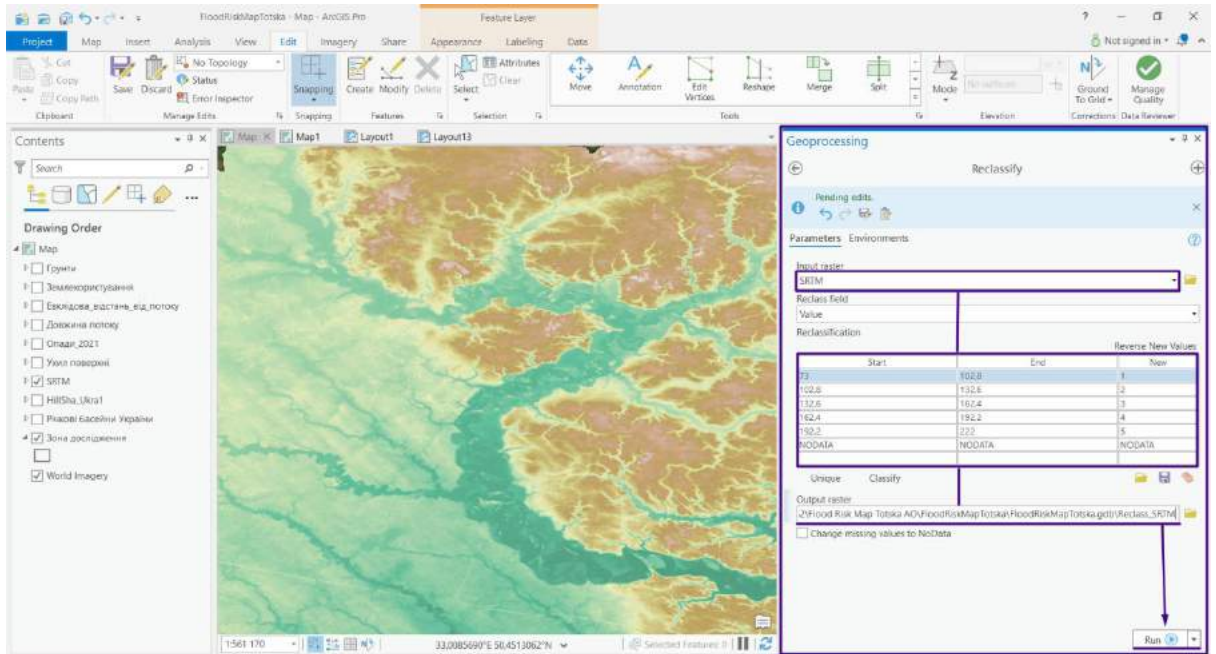


Рисунок 3.23 – Перекласифікація цифрової моделі висот (чим більша висота, тим менший ризик затоплення)

Отримані перекласифіковані растри зображено на рис. 3.24-3.30.

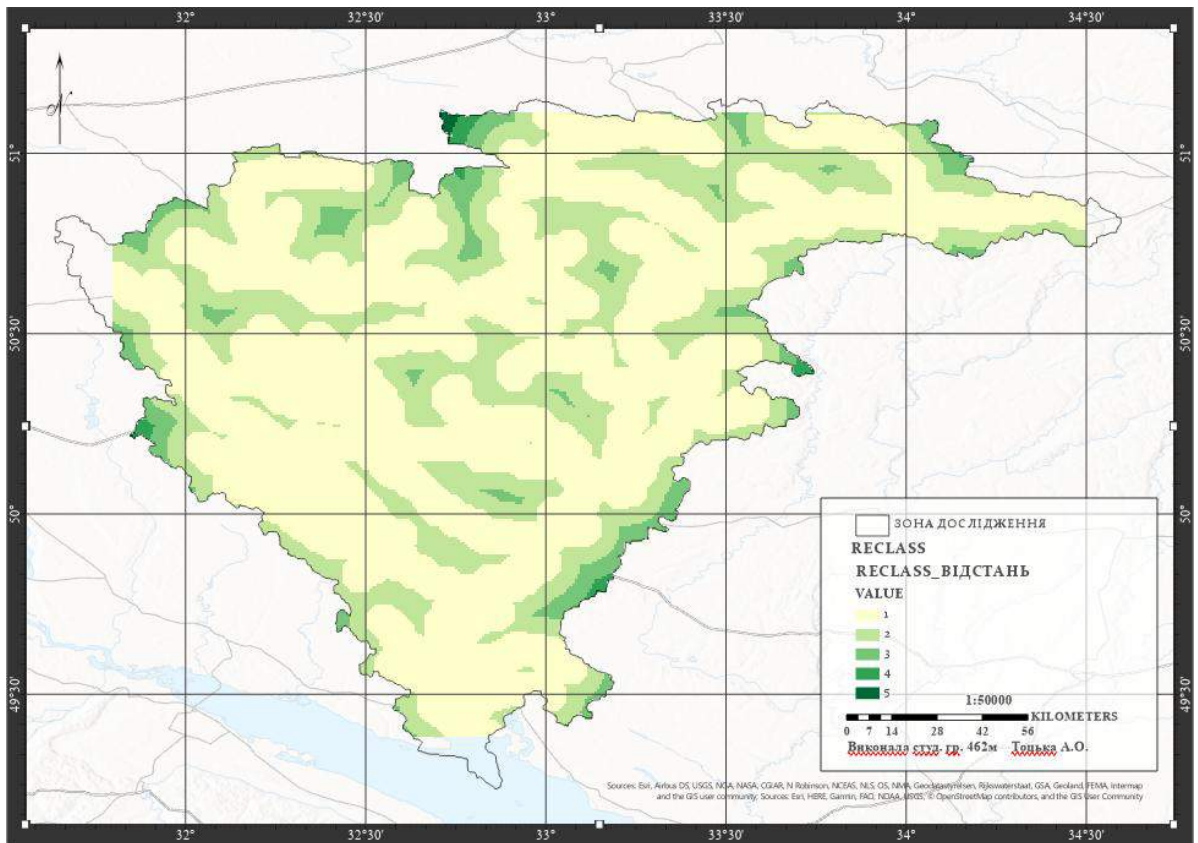


Рисунок 3.24 – Результат рекласифікації растру відстаней від потоку

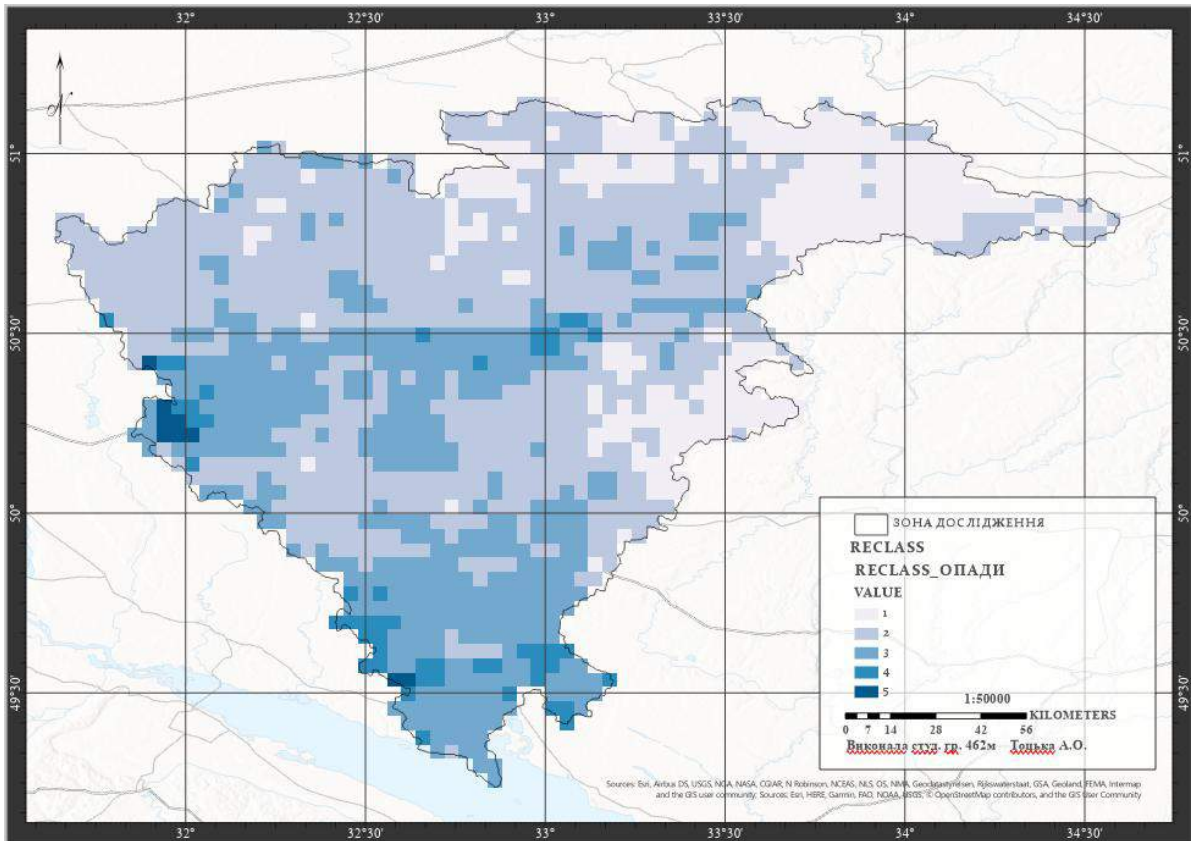


Рисунок 3.25 – Результат рекласифікації растру опадів

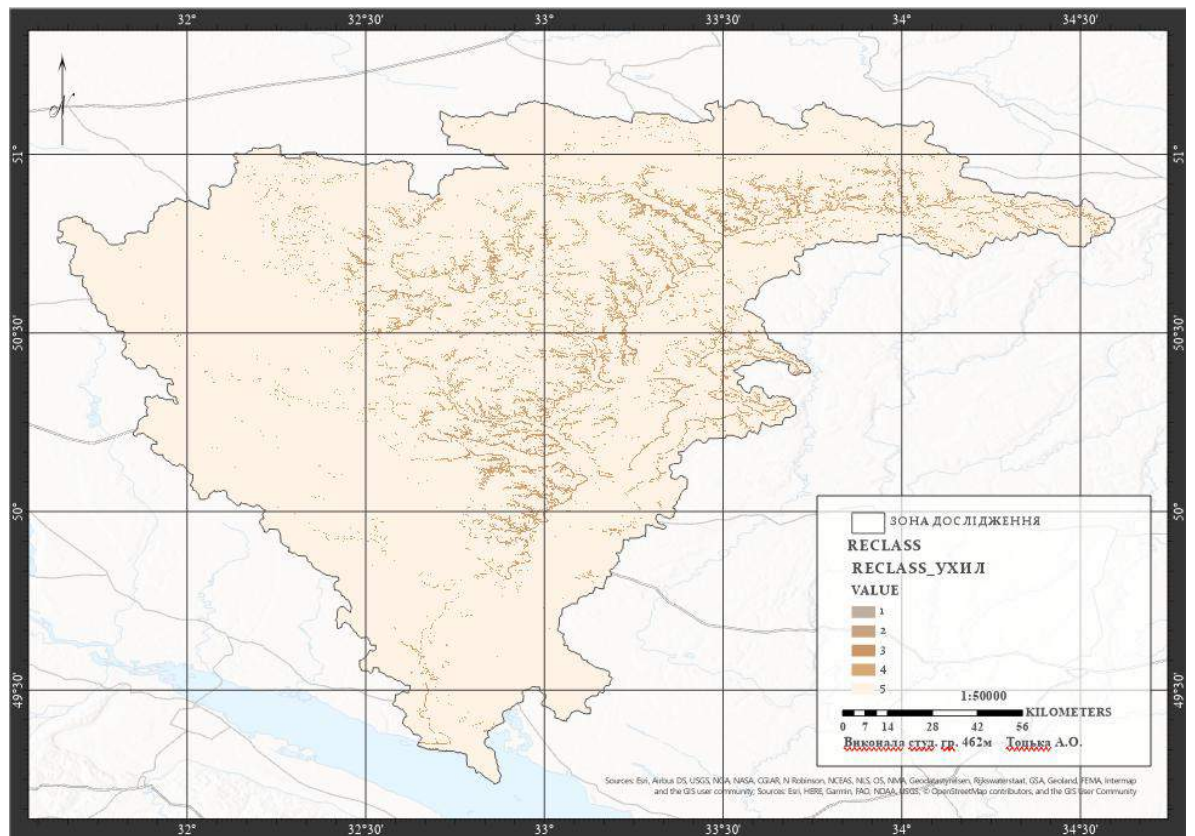


Рисунок 3.26 – Результат рекласифікації растру ухилів



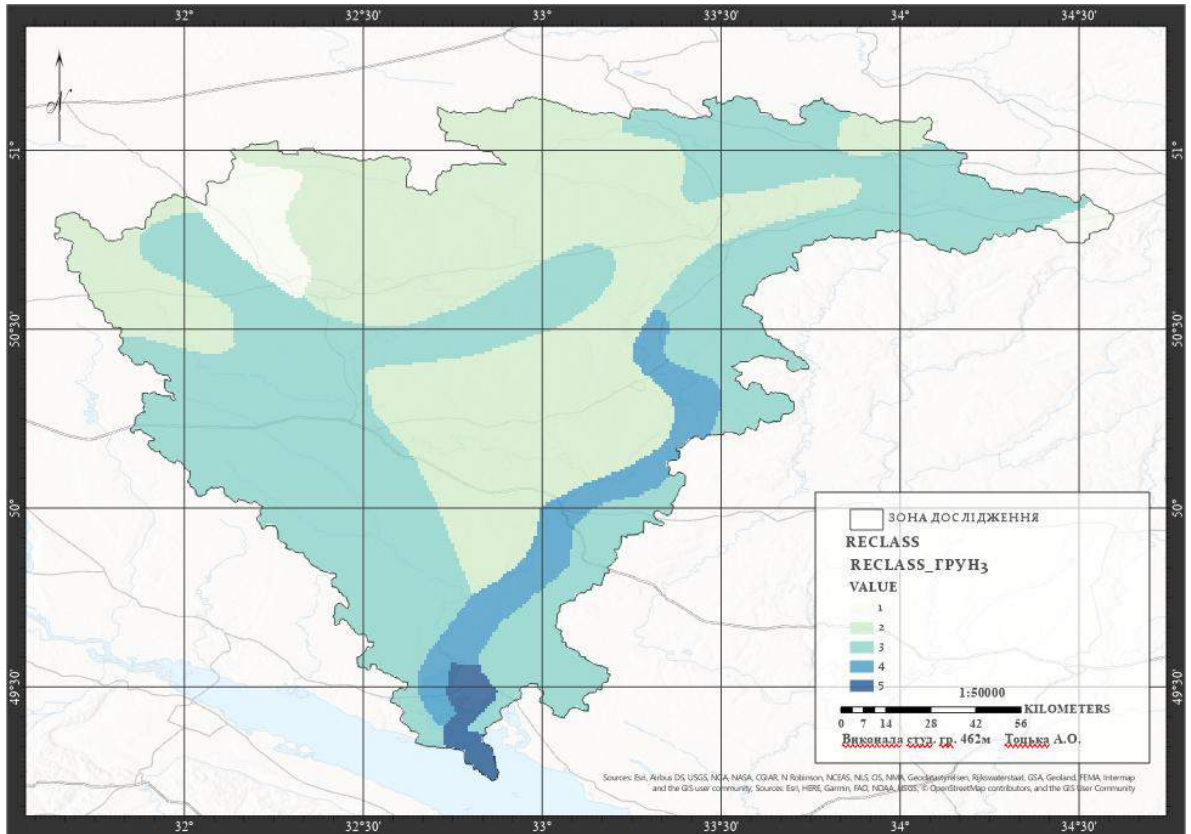


Рисунок 3.27 – Результат рекласифікації растру ґрунтів

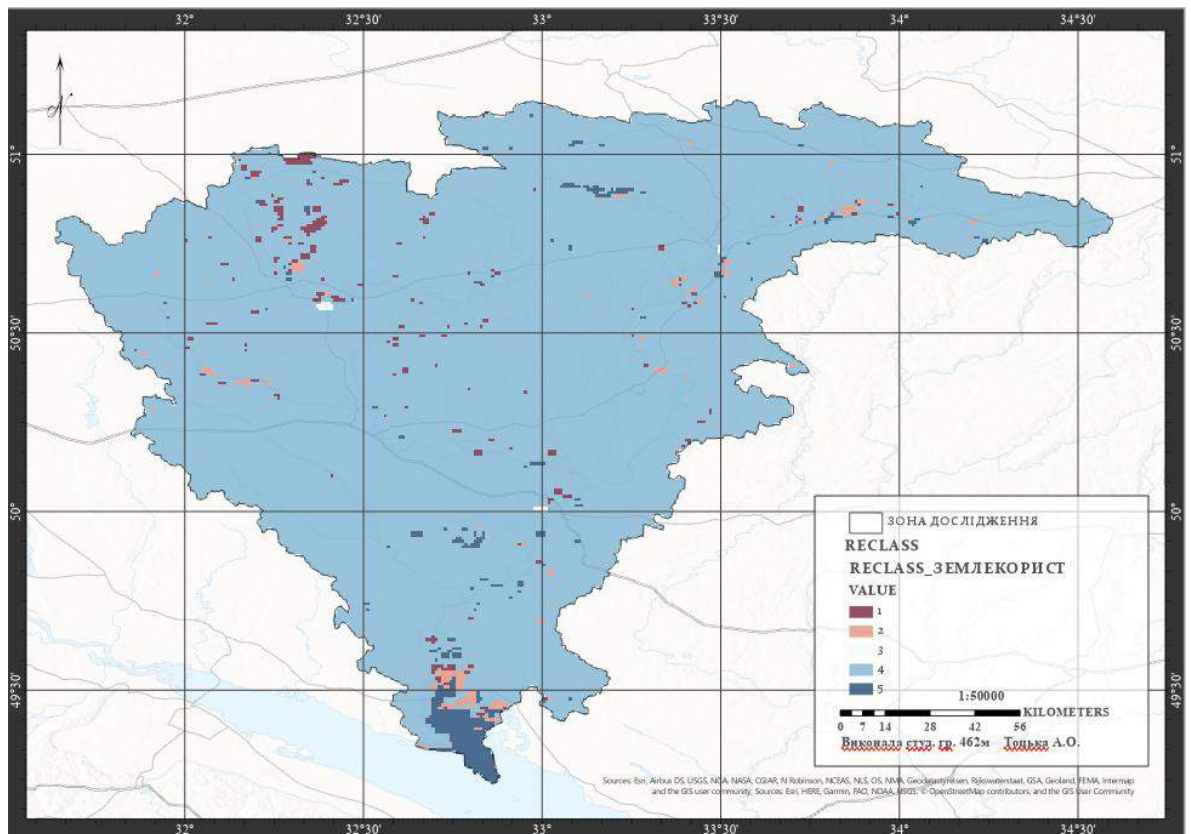


Рисунок 3.28 – Результат рекласифікації растру землекористування

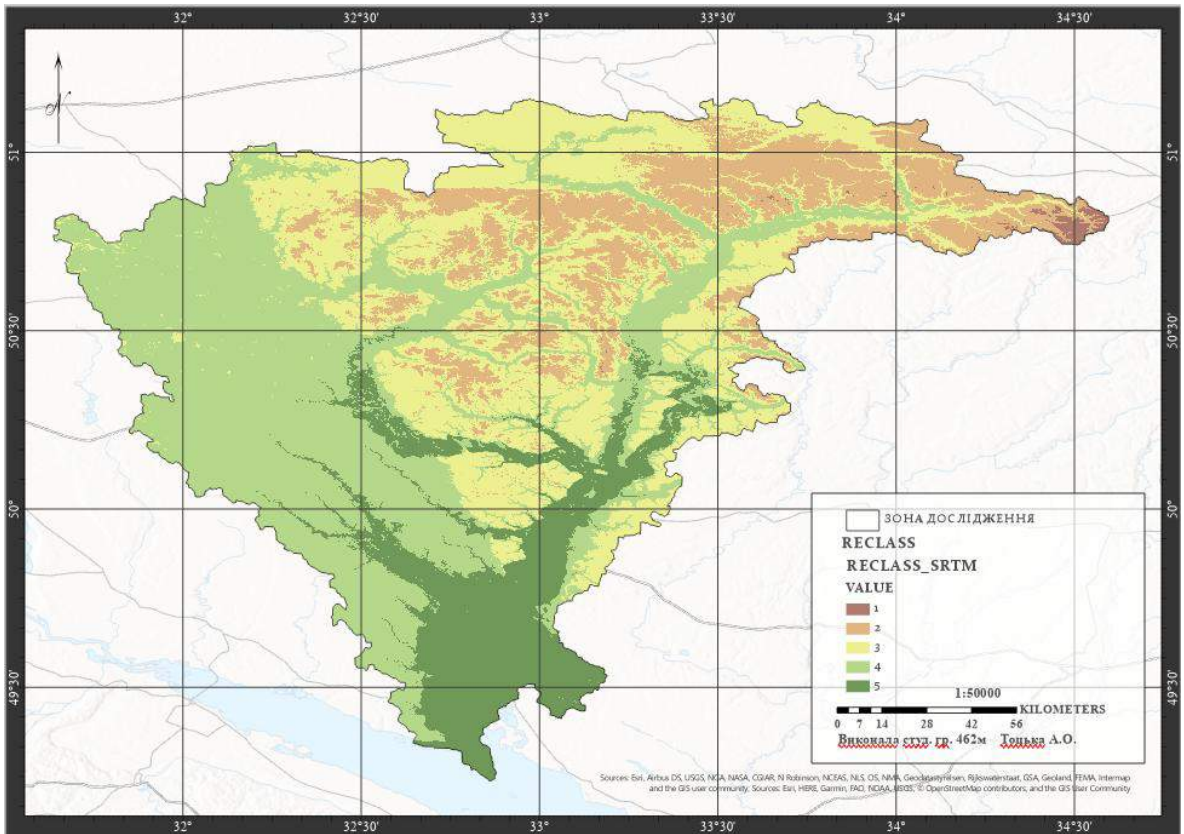


Рисунок 3.29 – Результат рекласифікації висот

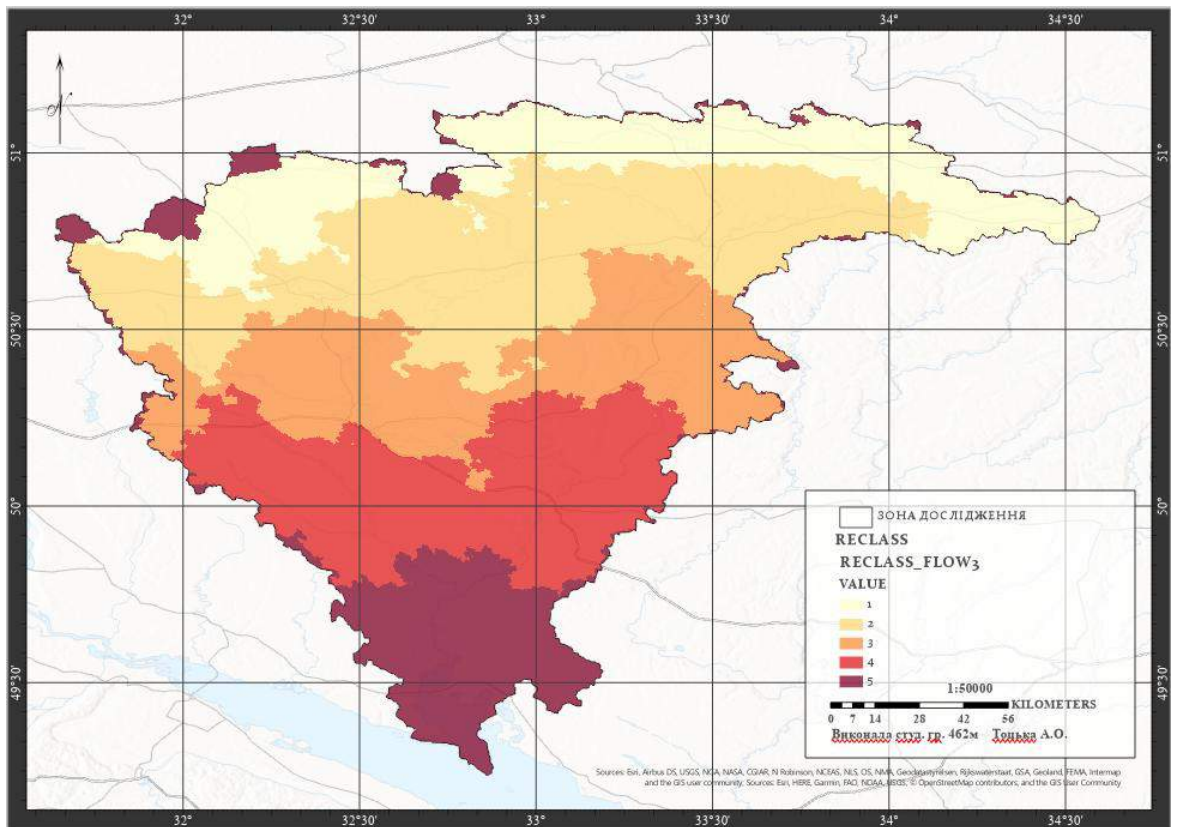


Рисунок 3.30 – Результат рекласифікації растру довжини потоку

### 3.4 Метод аналізу ієрархій

Для моделювання областей небезпеки затоплення необхідно враховувати значну кількість критеріїв: ухил поверхні, кількість опадів, довжину потоку, тип ґрунту та землекористування, висоту і т.д. У даному дослідженні вплив критеріїв на формування повені розраховується за допомогою методу аналізу ієрархій (МАІ). Це багатокритеріальний метод прийняття рішень, розроблений американським математиком Томасом Сааті в 1970-х роках і по сьогоднішній день використовується, коли в дослідженні задіяно низку взаємопов'язаних критеріїв [1].

Метод аналізу ієрархій полегшує оцінку внеску кожного фактора і допомагає подолати такі проблеми, як дублювання та виявлення взаємозв'язку між критеріями. Процес прийняття рішень в СППР починається з ранжування критеріїв в ієрархічному порядку відповідно до їх відносної важливості, яка визначається за допомогою порівняльної шкали Сааті (1980), що варіюється від 1 до 9 (табл. 3.4).

Таблиця 3.4 – Шкала відношень (ступеня значимості дій)

Ступінь значимості	Визначення	Пояснення
1	Однакова значимість	Дві дії мають однаковий внесок у досягнення мети
3	Слабка значимість	Існують не достатньо переконливі міркування на користь переваги однієї з дій
5	Істотна значимість	Маються надійні дані для того, щоб показати переваги однієї з дій
7	Очевидна значимість	Переконливе свідчення на користь однієї дії перед іншою
9	Абсолютна значимість	Незаперечні переконливі свідчення на користь переваги однієї дії перед іншою
2, 4, 6, 8	Проміжні значення між сусідніми судженнями	Ситуація, коли необхідне компромісне рішення

У даному дослідженні параметри, що використовуються для картографування небезпеки повеней, було оцінено відповідно до їх відносної

важливості в ієрархічному порядку. Потім була підготовлена матриця попарних порівнянь для визначення їхньої ваги. Судження, зроблені під час попарного порівняння, ґрунтувалися на особистому досвіді, а також на наявній інформації.

У таблиці нижче наведено матрицю попарного порівняння семи параметрів, де значення діагоналі дорівнює 1. Значення рядків вказують на відносну важливість між двома параметрами. Наприклад, у перший рядок показує відносну важливість кількості опадів порівняно з іншими параметрами. Кількість опадів має дещо більше значення у сприянні виникненню паводків ніж висота і схил, тому їй присвоєно значення 2. Кількість опадів є значно важливішою, ніж землекористування, тому при оцінці їх відносної важливості було присвоєно значення 5 і т.д (табл. 3.5).

Таблиця 3.5 – Матриця критеріїв впливу на формування повені

Параметри	Опади	Ухил поверхні	Довжина потоку	Відстань від потоку	Тип ґрунту	Землеві користання	Висота (DEM)
Опади	1	2	2	2	3	5	9
Ухил поверхні	0,5	1	3	5	7	8	8
Довжина потоку	0,5	0,3333	1	3	3	5	9
Відстань від потоку	0,5	0,2	0,3333	1	2	3	7
Тип ґрунту	0,3333	0,1428	0,3333	0,5	1	4	5
Землеві користання	0,2	0,125	0,2	0,3333	0,25	1	3
Висота (DEM)	0,1111	0,125	0,1111	0,1428	0,2	0,3333	1

Отриману матрицю необхідно пронормувати. Для цього необхідно знайти суму всіх елементів вектора і утворити новий вектор, елементами якого

є відношенням елементів вектору на знайдену суму. Таблиця 3.6 показує нормалізоване значення параметрів та їх критеріальну вагу.

Таблиця 3.6 – Нормалізована матриця критеріїв впливу

Параметри	Опади	Ухил поверхні	Довжина потоку	Відстань від потоку	Тип ґрунту	Землеви користання	DEM (висота)	Criteria Weights
Опади	0,5435	0,3012	0,1388	0,1186	0,1449	0,1765	0,25	0,2391
Ухил поверхні	0,2717	0,1506	0,2082	0,2966	0,3382	0,2824	0,2222	0,2528
Довжина потоку	0,2717	0,0502	0,0694	0,1779	0,1449	0,1765	0,25	0,1629
Відстань від потоку	0,2717	0,0301	0,0231	0,0593	0,0966	0,1059	0,1944	0,1216
Тип ґрунту	0,1812	0,0215	0,0231	0,0297	0,0483	0,1412	0,1389	0,1034
Землеви користання	0,1087	0,0188	0,0139	0,0198	0,0121	0,0353	0,0833	0,0645
DEM (висота)	0,0604	0,0188	0,0077	0,0085	0,0097	0,0118	0,0278	0,0557

Наступним етапом є оцінювання узгодженості (однорідності) суджень експертів. Для цього необхідно використовувати відхилення величини максимального власного числа від порядку матриці  $n$  [19].

Таблиця порівняльної матриці була використана для визначення ваги фактора, ваги класу та відношення узгодженості CR (англ. consistency ratio). Значення CR має бути  $<0,1$  для його прийняття. Для обчислення значення CR використовується наступний вираз [20]:

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (3.1)$$

де CR – коефіцієнт консистенції;

CI – індекс консистенції;

RI – випадковий індекс.

Значення випадкового індексу (RI) є незмінним і наведено у табл. 3.7. У даному аналізі було використано сім параметрів, тому значення RI становить 1,32.

Таблиця 3.7 – Випадковий індекс, який використовується для розрахунку коефіцієнта консистенції (CR)

Н	1	2	3	4	5	6	7	8	9
RI	0	0	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45

Індекс узгодженості (CI) розраховували за наступною формулою:

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (3.2)$$

де  $\lambda_{max}$  – максимальне власне значення матриці порівняння;

n – кількість критеріїв.

У цьому дослідженні розраховане значення  $\lambda_{max}$  становило 7.6638, а кількість критеріїв дорівнювало семи. Після ділення CI на RI було знайдено значення коефіцієнта консистенції (CR) як 0,0838, тобто менше 0,1. Таким чином, отриманий результат був прийнятий [<https://dss.tg.ck.ua/ahp-help>].

Отже, використовуючи метод аналізу ієрархій було визначено вагу кожного критерію, необхідного для моделювання областей небезпеки затоплення. Результати розрахунків наведено у таблиці 3.8.

Таблиця 3.8 – Ранжування параметрів за класами з їх зваженими значеннями

No	Параметр	Суб фактор	Рівень небезпеки	Вага параметра
1	Опади	297-481,8	Малозначний ризик	0,2391
		421,8-546,6	Низький ризик	
		564,6-671,4	Помірний ризик	
		671,4-796,2	Високий ризик	
		796,2-921	Дуже високий ризик	
2	Ухил поверхні	15,72-12,57	Малозначний ризик	0,2528
		12,57-9,43	Низький ризик	
		9,43-6,28	Помірний ризик	
		6,28-3,14	Високий ризик	
		3,14-0	Дуже високий ризик	
3	Довжина потоку	0-0,8410	Малозначний ризик	0,1629
		0,8410-1,6821	Низький ризик	
		1,6821-2,5231	Помірний ризик	
		2,5231-3,3642	Високий ризик	
		3,3642-4,2052	Дуже високий ризик	
4	Відстань від потоку	0,238-0,191	Малозначний ризик	0,1216
		0,191-0,143	Низький ризик	
		0,143-0,095	Помірний ризик	
		0,095-0,047	Високий ризик	
		0,047-0	Дуже високий ризик	
5	Тип ґрунту	Каштанові	Малозначний ризик	0,1034
		Черноземи типові	Низький ризик	
		Темно-сірі опідзолені	Помірний ризик	
		Лучно-черноземні	Високий ризик	
		Лучні	Дуже високий ризик	
6	Землеви користання	Широколистяний ліс, Мішаний ліс	Малозначний ризик	0,0645
		Хвойний ліс, Хвойно-листяний ліс	Низький ризик	
		Міська територія	Помірний ризик	
		Дерево відкрите, Чагарник, Орні землі	Високий ризик	
		Трав'янистий, Розріджена рослинність, Водні об'єкти	Дуже високий ризик	

## Продовження табл. 3.8

7	ЦМР	222-192,2	Малозначний ризик	0,057
		192,2-162,4	Низький ризик	
		162,4-132,6	Помірний ризик	
		132,6-102,8	Високий ризик	
		102,8-73	Дуже високий ризик	

## 3.4 Зважене накладання

Інструмент Weighted Overlay застосовує один із найбільш використовуваних підходів до аналізу накладень для вирішення багатокритеріальних проблем, таких як вибір місця та моделі придатності. У зваженому аналізі накладання дотримується кожен із загальних кроків аналізу накладення (рис. 3.31). Результат застосування на рис. 3.32.

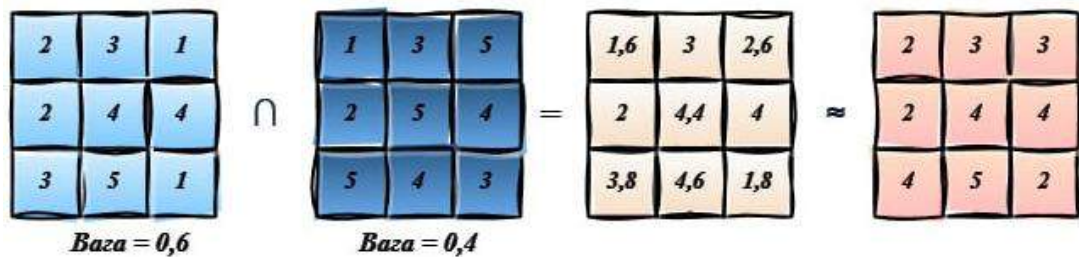


Рисунок 3.31 – Принцип роботи інструмента Weighted Overlay

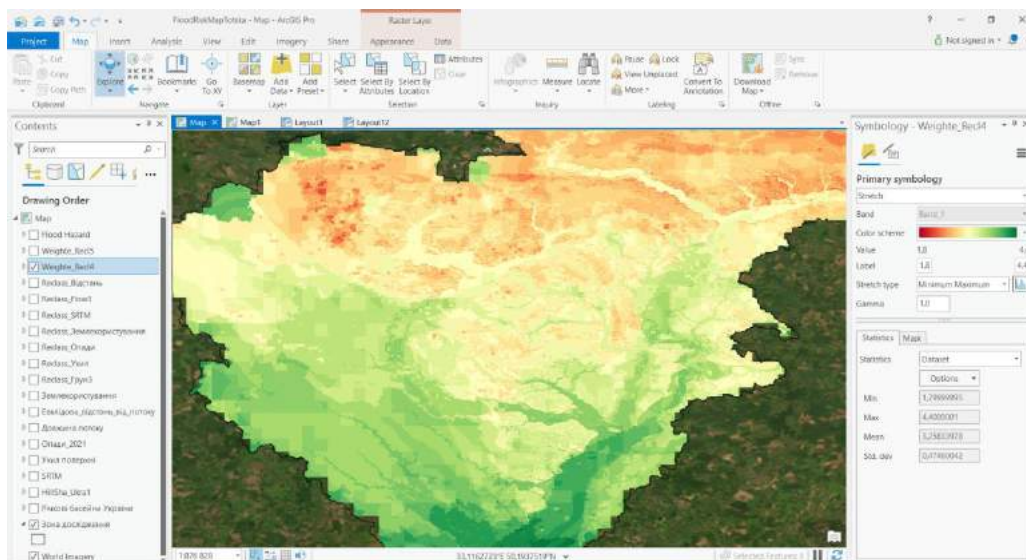


Рисунок 3.31 – Результат застосування інструмента Weighted Overlay



Зона, схильна до затоплення, була виявлена за допомогою підходу до реагування на небезпеку затоплення. Причини, що спричиняють повені, відрізняються від одного дослідження до іншого. Висота, нахил, кількість опадів, щільність стоку, відстань до річки, геологія та ґрунт є обраними параметрами, що генерують повінь для цього дослідження. Затоплення відбувається швидше в рівнинних місцях, ніж у похилих місцях, де стік стікає далі вниз. Нахил місцевості, який є найбільш часто і загальновідомим елементом топографічного розміру, є параметром, який може бути згенерований в результаті додаткового вивчення цифрової моделі рельєфу для подальшого аналізу.

Отже, у результаті накладання всіх шарів було отримано карту небезпеки затоплення, зображену на рис. 3.32.

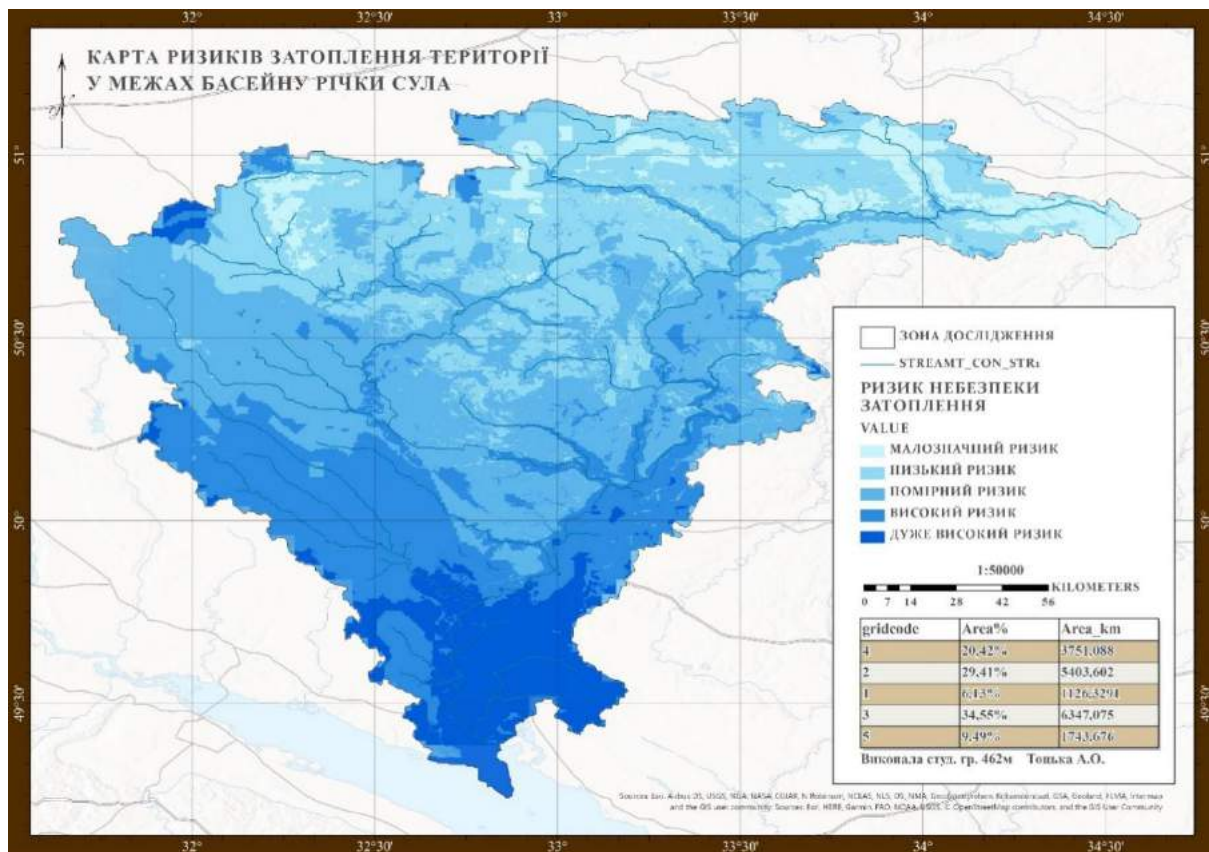


Рисунок 3.32 – Карта небезпеки затоплення

### 3.5 Аналіз зон вразливості до затоплення

Небезпека або сприйнятливість до повені відноситься до ймовірності або ймовірності того, що територія постраждає від повені, з іншого боку, вразливість до повені відноситься до ступеня шкоди або негативного впливу, який може бути спричинений повінню, на територію чи громаду. Він враховує такі фактори, як вплив паводкових вод на людей та інфраструктуру, стійкість громади впоратися з повінню, а також потенційні наслідки повені для навколишнього середовища, економіки та суспільства. Він являє собою сприйнятливість території, яка може бути пошкоджена або зазнала негативного впливу від повені. Ризик повеней – це міра вразливості до пошкоджень і втрат від затоплення, яка зазвичай оцінюється з урахуванням фізично-кліматичних, гідродинамічних, економічних, соціальних та екологічних факторів. Ризик затоплення розраховується шляхом об'єднання небезпеки і вразливості з урахуванням їх суми або множення.

Для аналізу вразливості до затоплення було враховано чотири параметри:

- щільність забудови;
- населення;
- автомобільні дороги;
- залізнична мережа.

Було розраховано евклідову відстань для векторних шарів транспортного сполучення та забудови. Використовуючи метод класифікації (природні розриви) дані було поділено на п'ять класів.

За допомогою методу аналізу ієрархій було визначено вагу кожного критерію: 0,27 – населення, 0,23 – щільність забудови, 0,21 – залізниці та 0,29 – дороги.

Отримані перекласифіковані растри зображено на рис. 3.32-3.35.

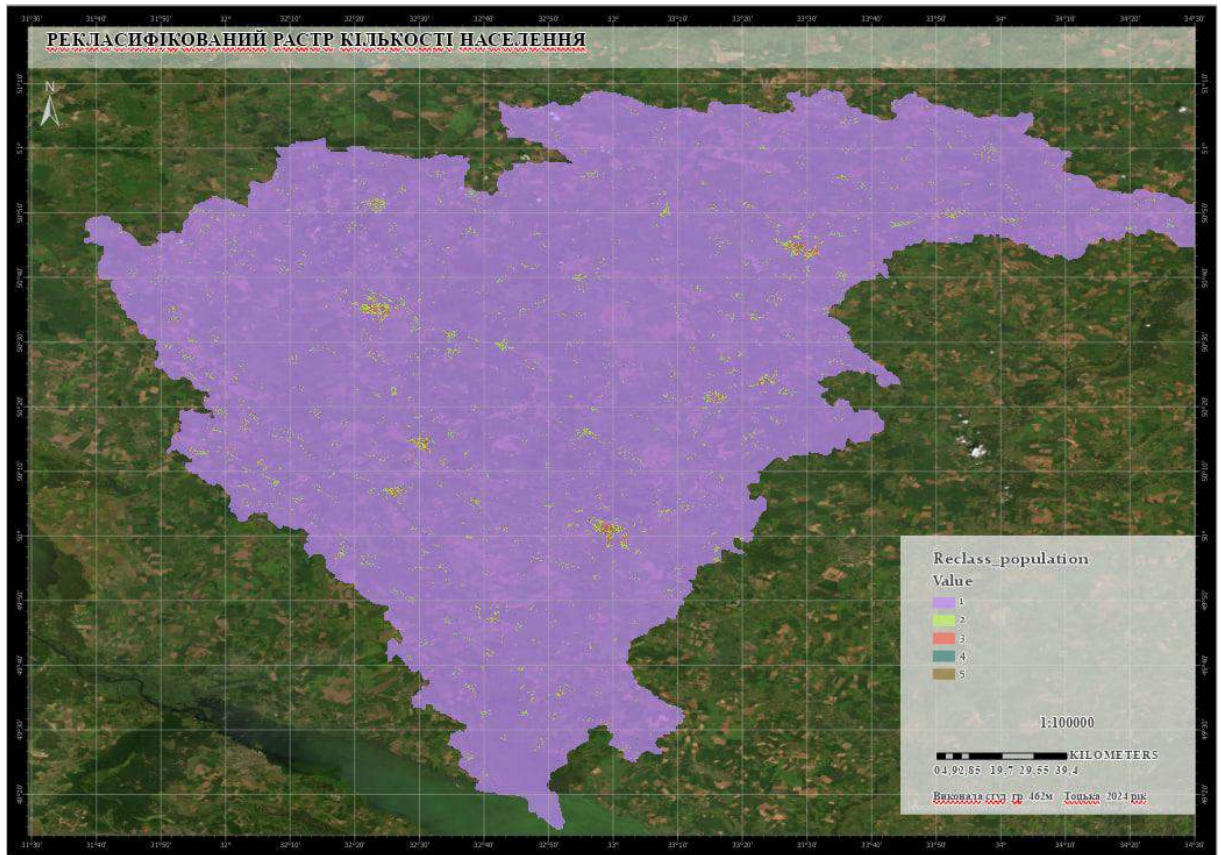


Рисунок 3.32 – Результат рекласифікації растру населення

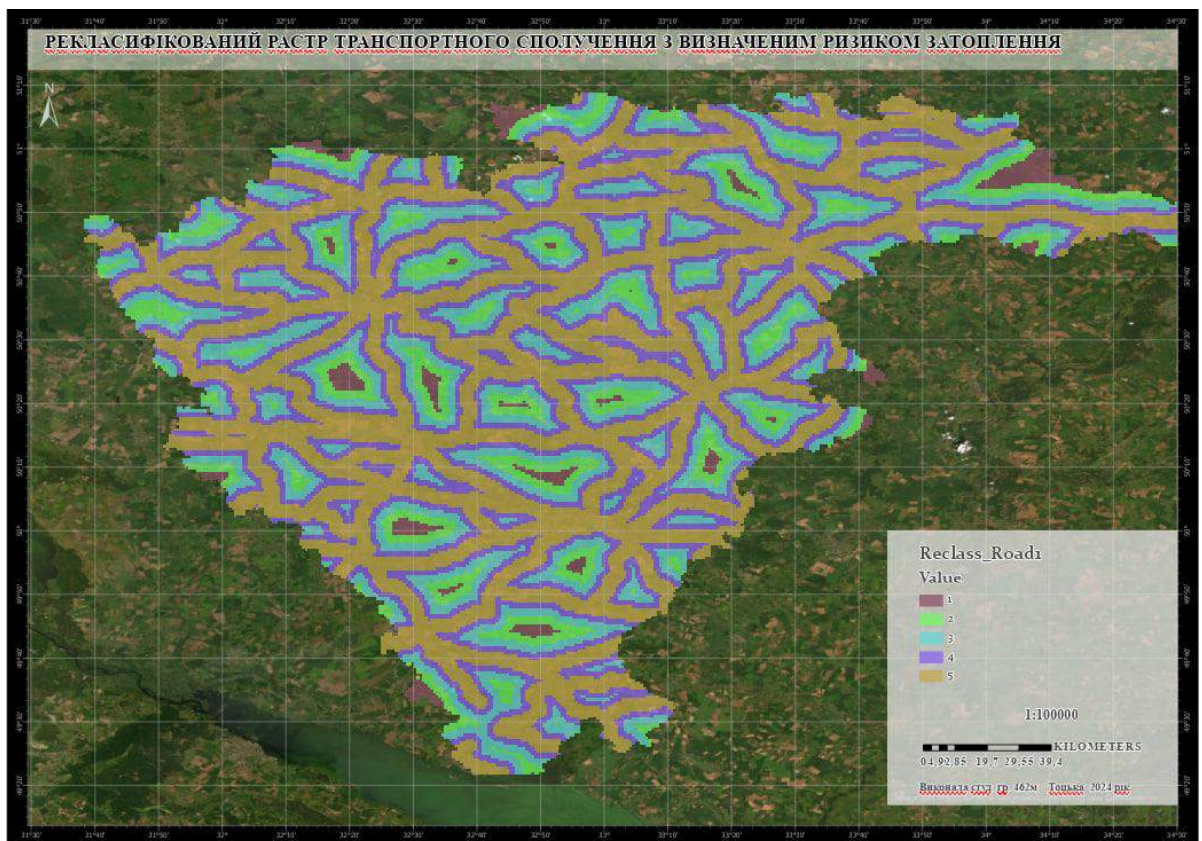


Рисунок 3.33 – Результат рекласифікації растру автомобільних доріг

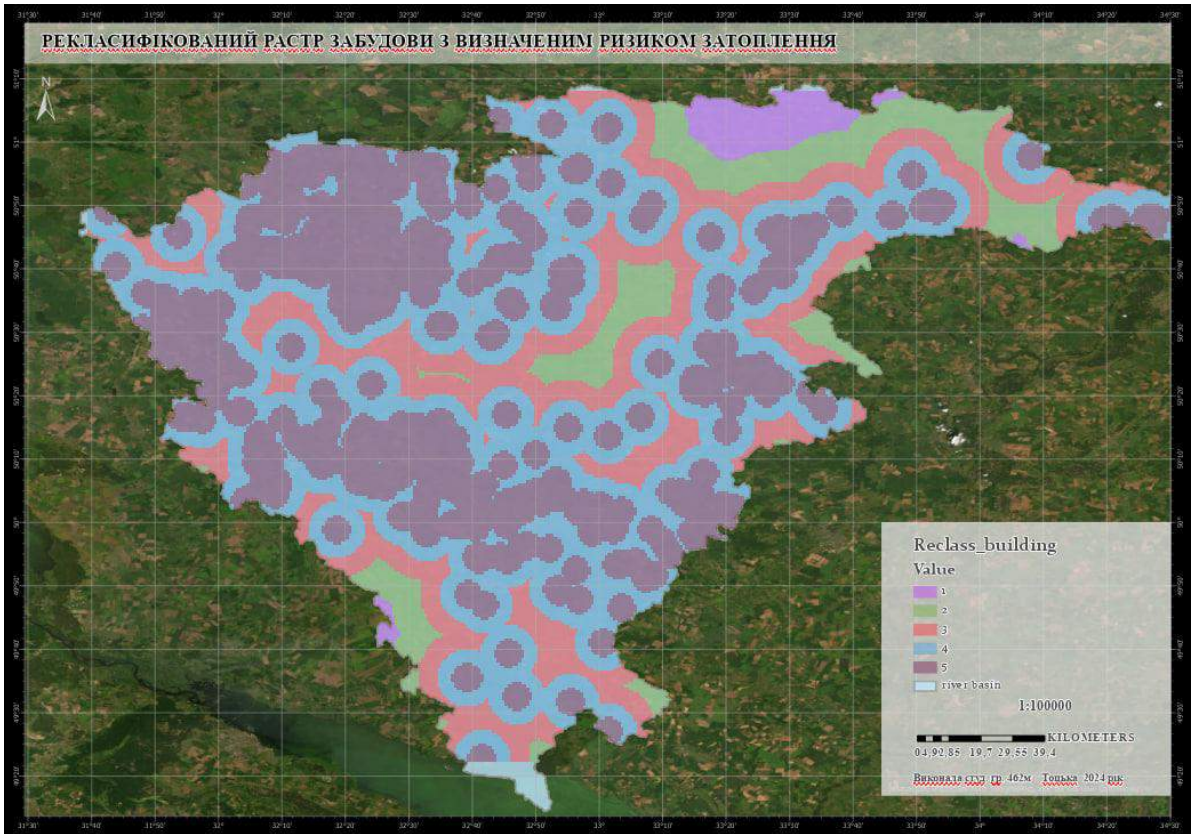


Рисунок 3.34 – Результат рекласифікації растру забудови

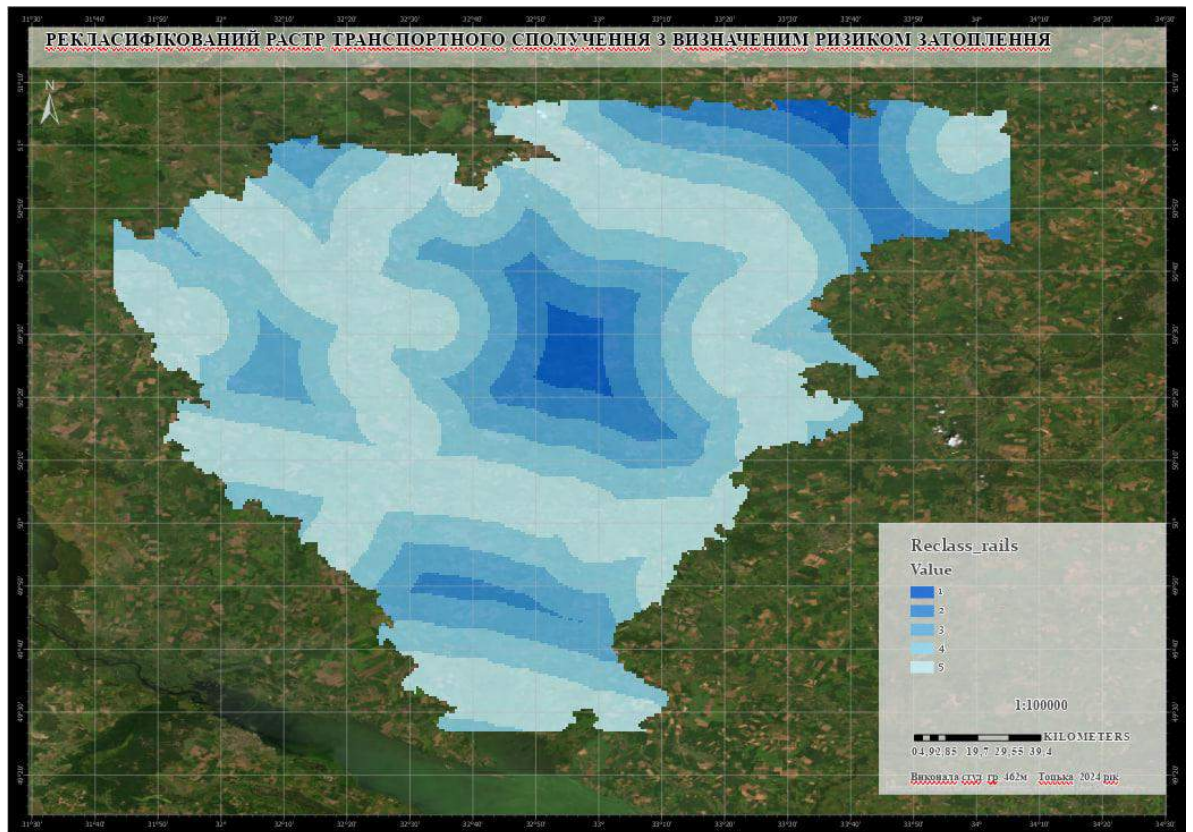


Рисунок 3.35 – Результат рекласифікації растру залізниць

Отже, у результаті накладання всіх шарів було отримано карту вразливості до затоплення, зображену на рис. 3.36.

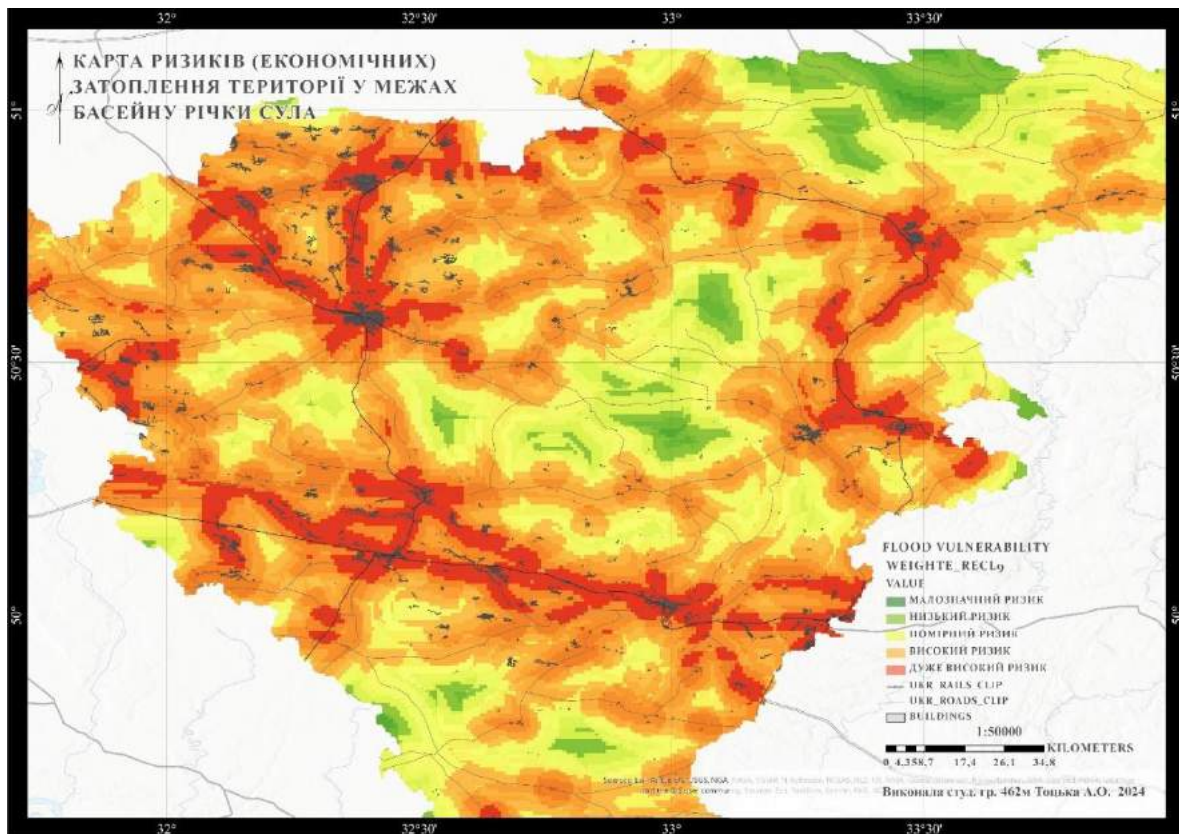


Рисунок 3.36 – Карта вразливості до затоплення

Аналіз передбачає визначення того, які ймовірні небезпеки або проблеми; визначення величини небезпек; виявлення наслідків та елементів, що перебувають у зоні ризику; ймовірність пошкодження, пов'язаного як з небезпекою, так і з вразливістю; і значимість оціненого ризику. Індуктивний підхід до оцінки ризику був застосований з використанням описаної на початку розділа основи для визначення регіонів ризику в річковому басейні Сули.

Метод, який використовується для оцінки ризиків, проводився шляхом обробки даних та вилучення атрибутів. Перший етап передбачав попередню обробку з використанням наборів даних для створення шарів для факторів кондиціонування (кількість опадів, схил, щільність річки, відстань від річок, накопичення стоку, висота над рівнем моря, землекористування) та факторів

вразливості (щільність населення, щільність забудови та щільність доріг). Потім ці фактори були використані для оцінки небезпеки та вразливостей, присутніх в річковому басейні Сули.

У результаті об'єднання карт небезпеки затоплення (рис. 3.37) та вразливості до затоплення (рис. 3.32), було створено загальну карту ризиків (рис. 3.37).

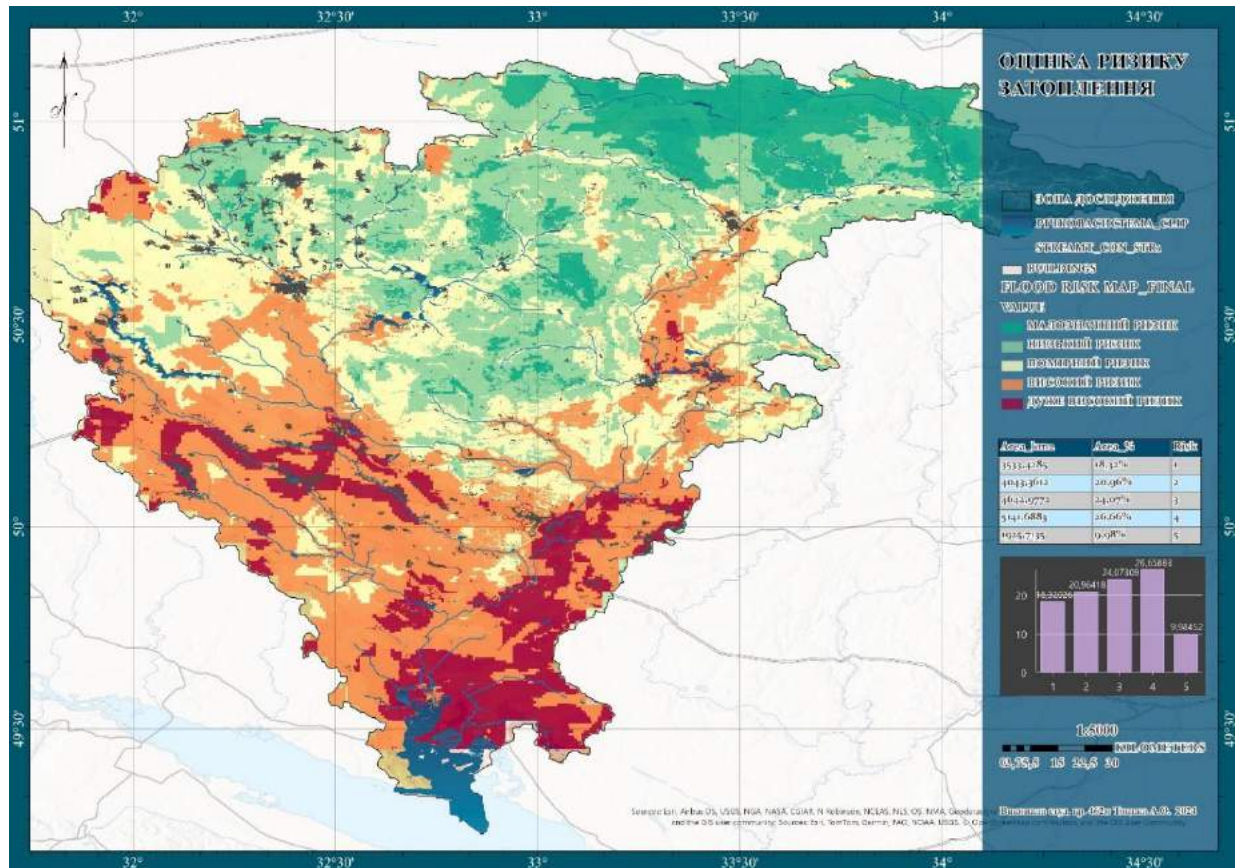


Рисунок 3.37 – Карта ризику затоплення

Згідно з картою, 29,91% досліджуваної території знаходиться під загрозою затоплення на високому і дуже високому рівні, 34,55% - під загрозою помірного затоплення, а 35,54% - під загрозою низького і дуже низького затоплення. Як наслідок, в умовах зміни клімату особи, які приймають рішення, можуть використовувати цю карту як орієнтир для потенційної превентивної діяльності, кращого планування землекористування та управління ризиками повеней.

### 3.5 Обчислення моделі ризику затоплення і визначення можливих зон розповсюдження мінної небезпеки

З офіційної сторінки Державної служби України з надзвичайних ситуацій було завантажено карту територій, які потенційно можуть бути забруднені вибухонебезпечними предметами. Сервіс протимінної діяльності ДСНС України - <https://mine.dsns.gov.ua/>.

Потім у карті ризику затоплення було відділено зону з найбільшим ризиком затоплення і накладено її на карту територій, які потенційно можуть бути забруднені вибухонебезпечними предметами. У місцях перетину було отримано розповсюдження мінної небезпеки у зв'язку з підтопленнями (рис. 3.38).



Рисунок 3.38 – Зони розповсюдження мінної небезпеки у випадку затоплення території річного басейну

Бажано, щоб проблема ВЗ була наземною, коли можна докласти розумних зусиль для видалення води з ділянки ВЗ або дочекатися, поки припливи спадуть. Згідно з Міжнародним стандартом протимінної діяльності стандартом 09.60 Підводне обстеження та знешкодження вибухонебезпечних предметів, очищення територій глибиною понад 50 метрів не підпадає під гуманітарні операції через обмежений соціально-економічний вплив та вплив на безпеку глибших водойм.

Проте за допомогою отриманої моделі можна вести облік забруднених водойм і попереджати населення. Приклади застосування розробленої методики оцінки розповсюдження мінної небезпеки через надзвичайні ситуації, пов'язані з підтопленнями.

Допомога при розмінуванні території. За допомогою моделі можна відслідкувати розповсюдження мінної небезпеки за течією. При появі перших ознак можливого паводку, в першу чергу розмінувати території, що мають високий та дуже високий ризик затоплення.

Ефективна допомога населенню. Карта вразливості до затоплення демонструє зони, що понесуть найбільші втрати у випадку затоплення і де евакуація буде необхідна в першу чергу. Рекомендовано написати інструкції зі сповіщення і популяризувати порядок дій у надзвичайній ситуації серед людей, що мешкають у зонах з великим ризиком затоплення. Забороняти купання та риболовлю у визначених зонах.

Мінімалізація впливу на довкілля та економіку. Розроблену модель можна використовувати виключно для оцінки ризиків можливого затоплення: розробити плани керування ризиками, нічого не будувати у зонах з дуже високим ризиком затоплення, підготувати господарську діяльність до можливого затоплення, відновлювати природні річки та їхні заплави.



## РОЗДІЛ 4 ВАЛІДАЦІЯ РОЗРОБЛЕНОЇ МОДЕЛІ НА ПРИКЛАДІ ЗАТОПЛЕННЯ У НАСЛІДКУ ПІДРИВА КАХОВСЬКОЇ ГЕС

У даній частині представлено автоматизовану модель оцінки небезпеки повеней, розроблену в Model Builder, що підвищує ефективність і масштабованість процесу оцінки. Модель, розроблена в середовищі Model Builder, інтегрує аналіз накладання ГІС, багатокритеріальний аналіз рішень і методи нечіткої логіки, забезпечуючи комплексну оцінку різноманітних характеристик, що перетинаються. Основною метою є спрощення та автоматизація процесу оцінки небезпеки повеней та розповсюдження мінної небезпеки для різних географічних районів, оптимізація використання ресурсів та економія часу.

Model Builder – це програма, яку ви використовуєте для створення, редагування та керування моделями. Моделі – це робочі процеси, які об'єднують послідовності інструментів геообробки, надаючи вихідні дані одного інструменту іншому інструменту як вхідні дані (рис. 4.1).

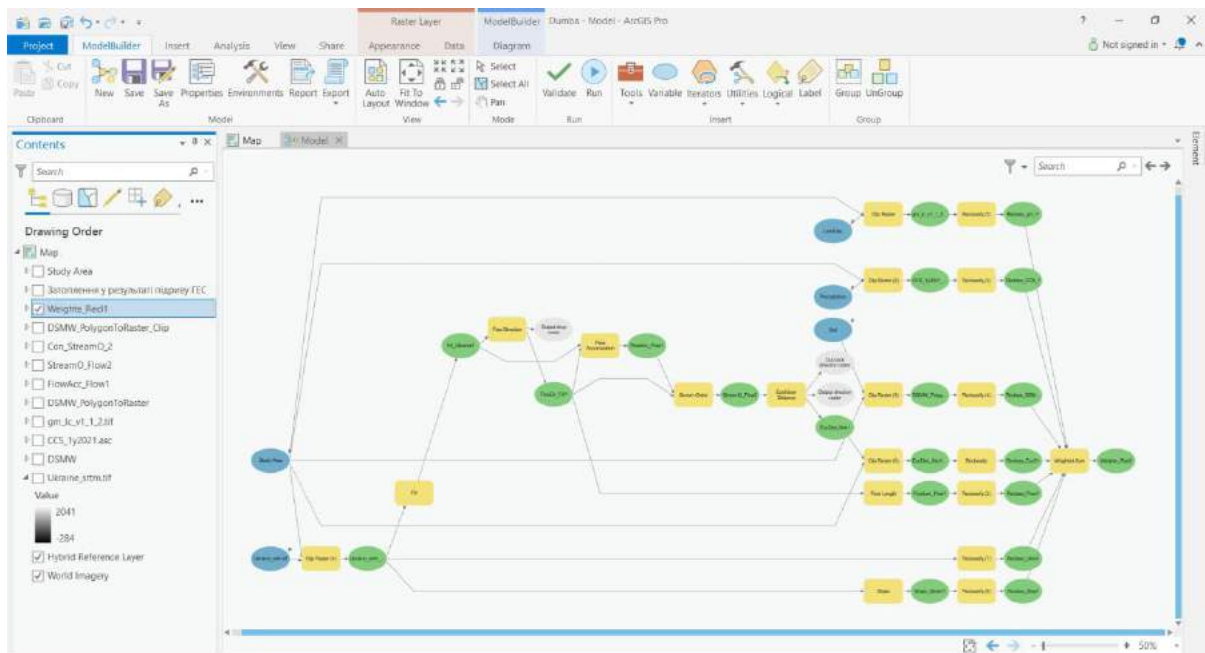


Рисунок 4.1 – Процес розробки моделі у Model Builder

Розроблення моделі, а саме інструменту у Model Builder, має ряд переваг.

- Комплексна оцінка. Включення аналізу накладання ГІС і MCDA забезпечує ретельне вивчення різних характеристик, пропонуючи цілісну картину небезпеки повеней.
- Ефективність та автоматизація. Підхід, що базується на побудові моделей, автоматизує процес оцінювання, сприяючи швидкому і послідовному проведенню оцінок для різних географічних районів. Ця ефективність має вирішальне значення для своєчасного прийняття рішень в управлінні катастрофами.
- Послідовність і стандартизація. Автоматизація моделі забезпечує стандартизовану методологію для різних регіонів, що дозволяє проводити надійні порівняння та аналіз небезпеки повеней.
- Пом'якшення обмежень даних: Акцент моделі на оцінці небезпеки за допомогою чисельного моделювання забезпечує ефективне обхідне рішення проблеми обмеженості даних, дозволяючи проводити практичну, але точну оцінку (рис. 4.2).

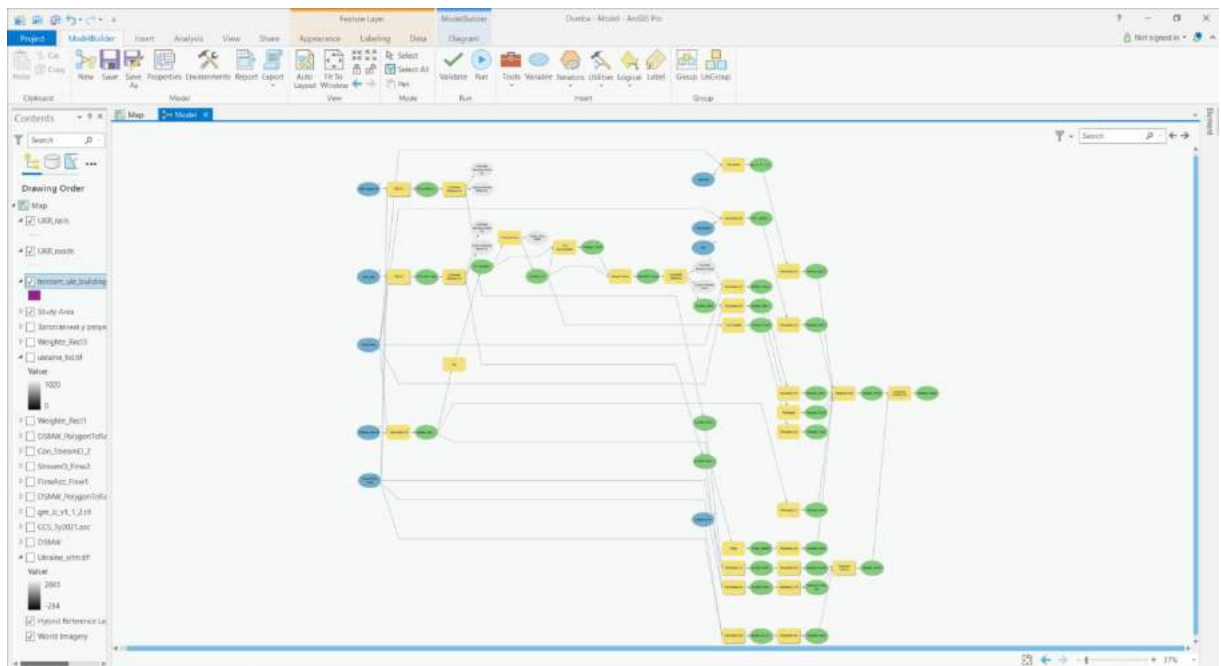


Рисунок 4.2 – Створена модель у Model Builder

#### 4.1 Перевірка роботи моделі оцінки ризиків затоплення на прикладі підриву Каховської ГЕС

Застосування даних ДЗЗ для розрахунку зони затоплення після вибуху є важливим інструментом для отримання об'єктивної інформації про масштаби та наслідки події. Ці дані надають можливість отримати докладне зображення території, включаючи рельєф, наявність водойм та інші характеристики, що сприяють розрахункам зони затоплення.

У даному розділі буде розглянуто методику обробки та аналізу даних ДЗЗ у програмному забезпеченні ArcGIS та алгоритмів геоінформаційного аналізу. Використовуючи ці дані, буде проведено оцінку розмірів затоплення, визначити його просторові межі та вплив на навколишнє середовище. Такий підхід дозволить зробити об'єктивні висновки про наслідки вибуху на Каховській ГЕС.

Знімки було завантажено з веб-ресурсу Махаг. Вони мають досить низьку роздільну здатність, проте на них майже нульова хмарність, що вже є достатньою для проведення аналізу (рис. 4.3-4.4).

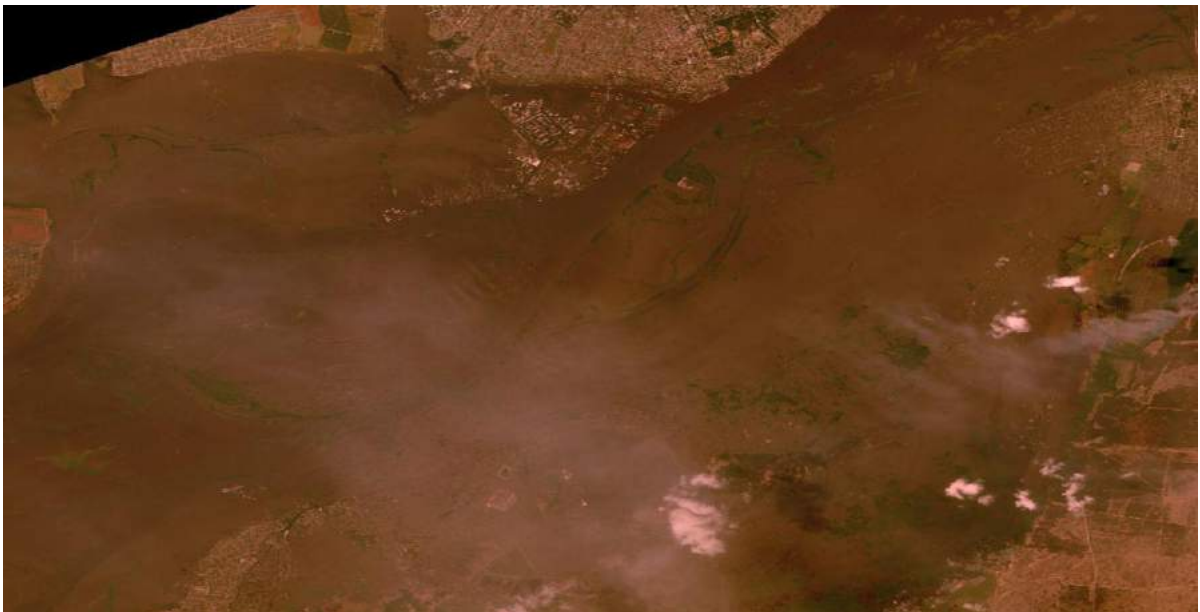


Рисунок 4.3 – Знімок з Махаг території Нової Каховки станом на 06.06.23

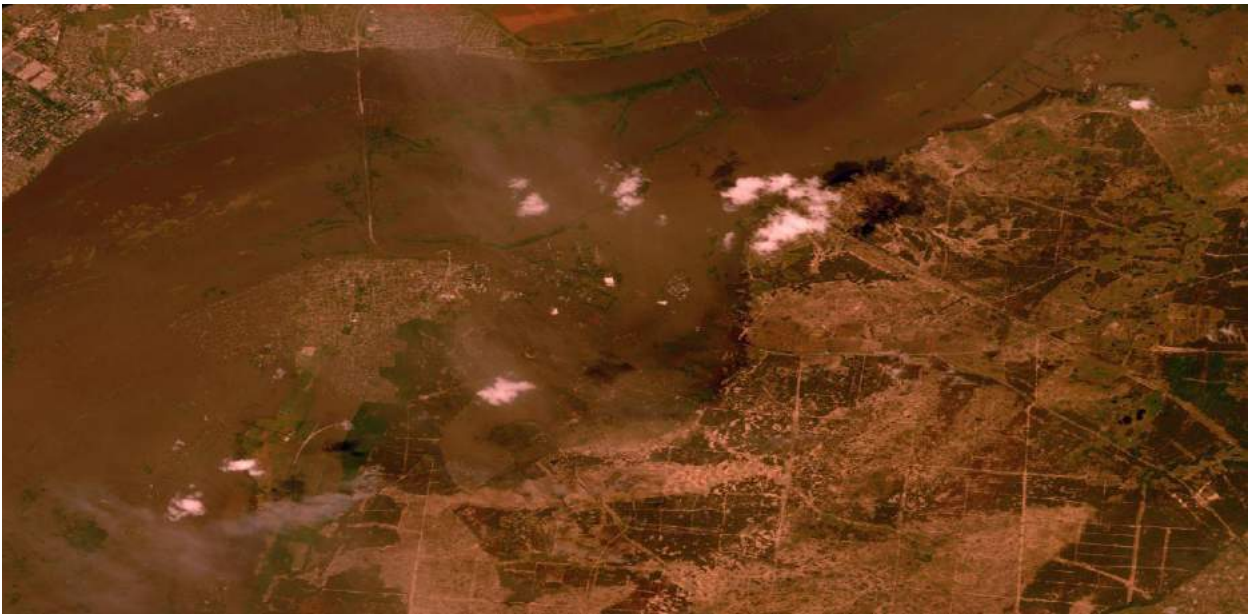


Рисунок 4.4 – Знімок з Махаг території міста Херсон станом на 08.06.23

Під час підготовки до валідації моделі небезпеки повеней реальні дані про затоплення, отримані у вигляді супутникових знімків до і після повені, пройшли просту техніку попередньої обробки.

Було застосовано диференціювання зображень шляхом віднімання значень пікселів із зображення до затоплення, підкреслення змін і виділення потенційно затоплених ділянок на отриманому різницевому зображенні. Подальше порогове визначення визначило ділянки зі значними змінами, створивши бінарну маску, де затоплені ділянки були представлені білими пікселями.

Ця бінарна маска слугує істинними даними, окреслюючи фактично затоплені ділянки для порівняння з прогнозами моделі оцінки небезпеки повеней. Методологія, що включає простий, але ефективний процес, забезпечує візуальну та кількісну основу для оцінки точності прогнозів моделі у порівнянні з реальними паводками.

Результат обробки знімків зображено на рис. 4.5.

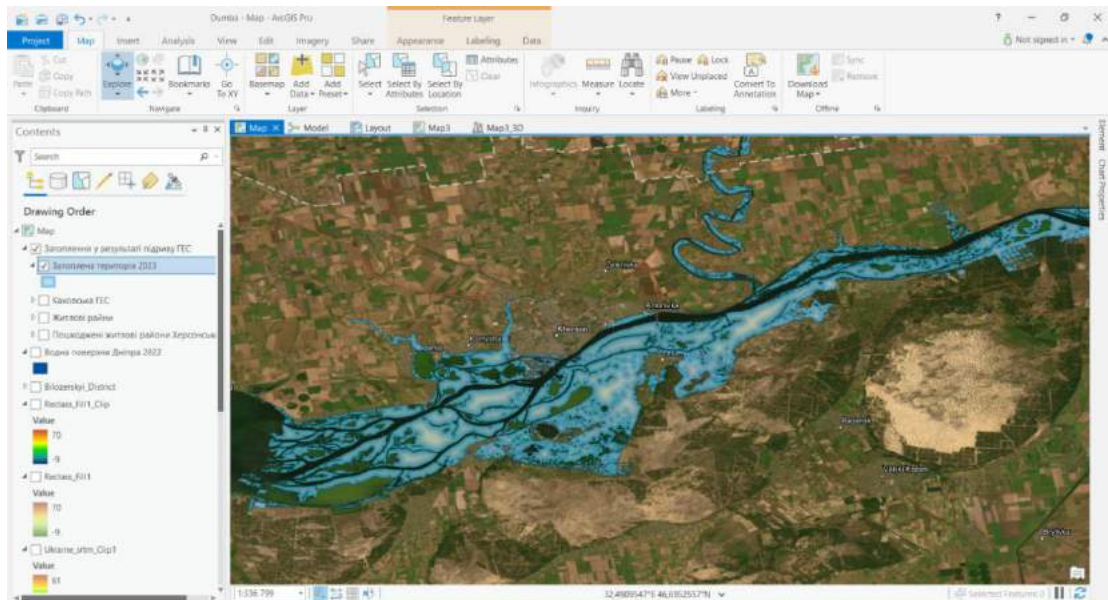


Рисунок 4.5 – Визначена зона реального затоплення у наслідок підриву Каховської ГЕС

Наступним етапом є накладання результатів моделі та наземних даних (реальних даних затоплення). Вибіркові результати моделі буде накладено на набір наземних даних і порівняно відповідність між прогнозованими і фактичними площами затоплення.

Розроблену у Model Builder модель було використано для розрахунку ризиків затоплення на території Херсонської області (рис. 4.6).

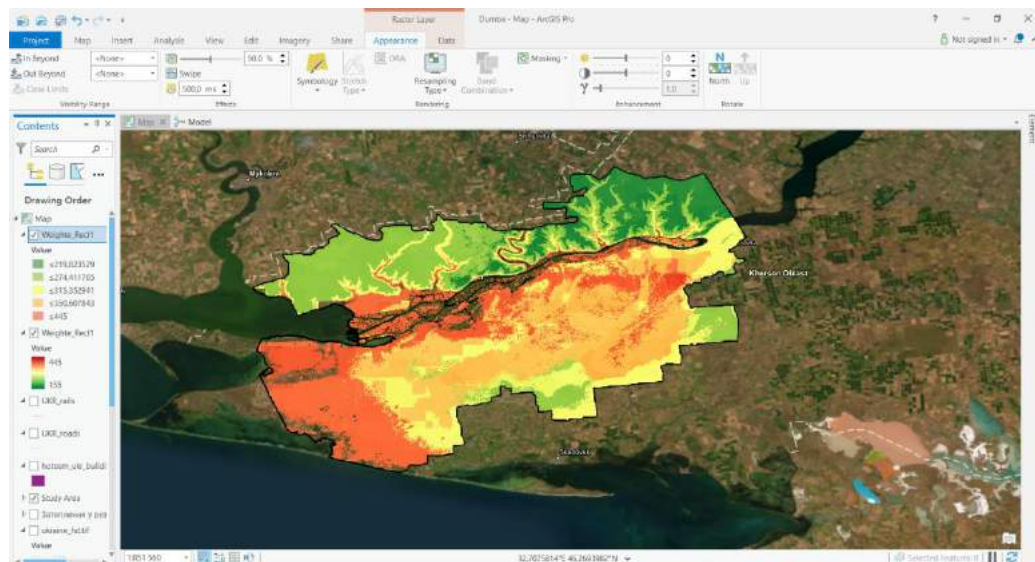


Рисунок 4.6 – Результат застосування моделі

Наступним кроком було налаштовано візуалізацію та додано елементи карти: стрілка півночі, масштабна лінійка, текст масштабу, легенда та координатна сітка (рис. 4.7).

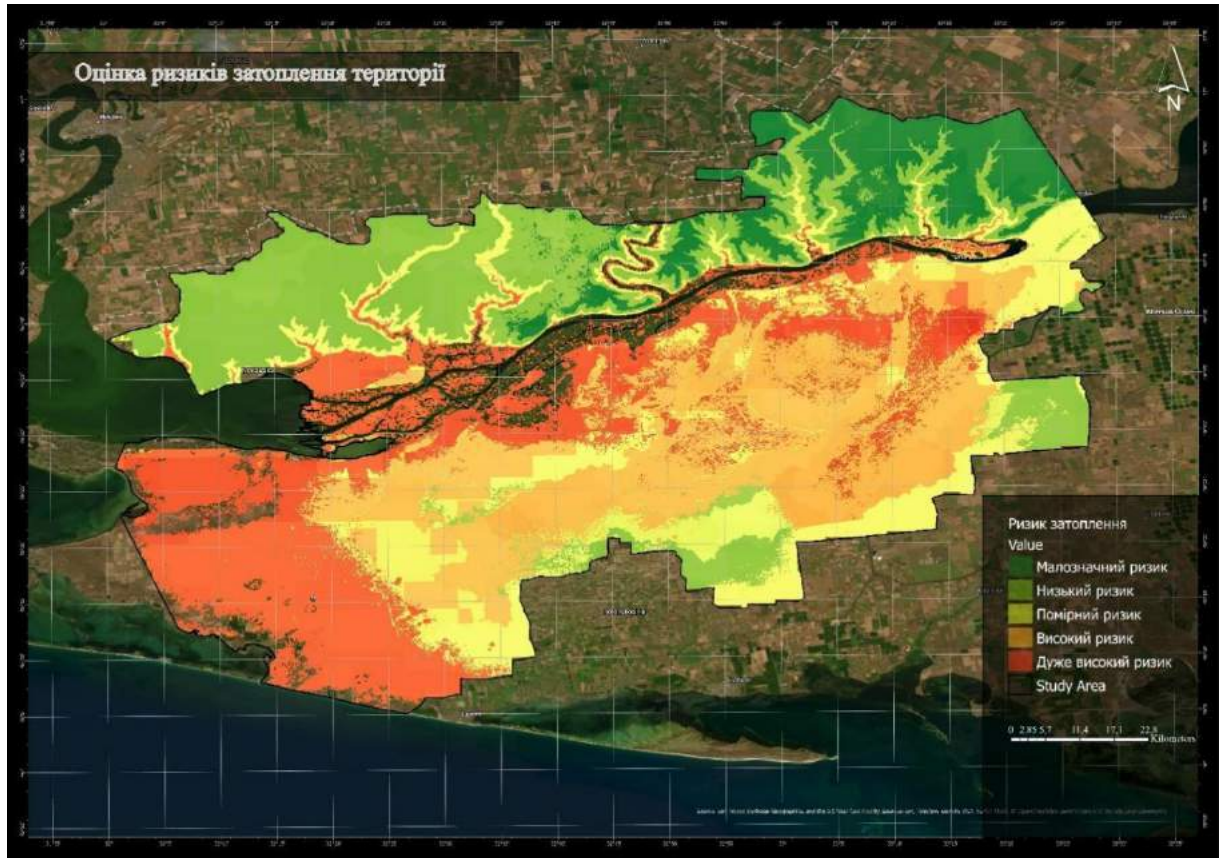


Рисунок 4.7 – Карта оцінки ризиків затоплення території, автоматично розрахована з застосуванням моделі

На основі накладених даних створено матрицю помилок, яка включає значення істинно позитивних (TP), істинно негативних (TN), хибно позитивних (FP) і хибно негативних (FN). Ці значення будуть використані для розрахунку чутливості, специфічності та, зрештою, ROC-AUC.

#### 4.1 Метод аналізу AUC-ROC

Крива AUC-ROC є вимірюванням продуктивності для проблем класифікації за різних порогових значень. ROC – це крива ймовірності, а AUC – ступінь або міра роздільності. Він говорить, наскільки модель здатна розрізняти класи. Чим вищий AUC, тим краще модель прогнозує 0 класів як 0 і 1 клас як 1. За аналогією, що вищий AUC, то краще модель розрізняє пацієнтів із захворюванням і без нього (табл. 4.1).

Таблиця 4.1 – Ранжування якості моделі за AUC значенням

AUC значення	Якість моделі
0,9-1,0	Чудова
0,8-0,9	Дуже добра
0,7-0,8	Добра
0,6-0,7	Задовільна
0,5-0,6	Незадовільна

Щоб створити ROC-криві в ArcGIS для перевірки потенційних зон затоплення, спочатку було перетворено потенційні зони і фактичних зони затоплення у растрові дані за допомогою інструментів «Полігон в растр» і «Точка в растр». Далі інструментом «Витягнути декілька значень у точки» було здобуто значення потенційних зон у місцях виявлення та об'єднано обидва набори даних за допомогою інструменту «Об'єднати». Перекласифіковано об'єднаний растр на потенційні та непотенційні зони за допомогою інструмента «Перекласифікувати», а потім зроблено випадкову вибірку точок за допомогою інструмента «Вибірка». Інструментом «Витягнути декілька значень у точки», було отримано значення у вибраних точках, обчислено частоту істинних спрацьовувань (TPR) і частоту хибних спрацьовувань (FPR) за допомогою інструмента «Зведена статистика» і побудовано ROC-криву.

Останнім етапом було оцінено точність моделі, шляхом розрахунку площі під кривою (AUC – Area under the ROC Curve). Побудована ROC-крива зображена на рис. 4.7.

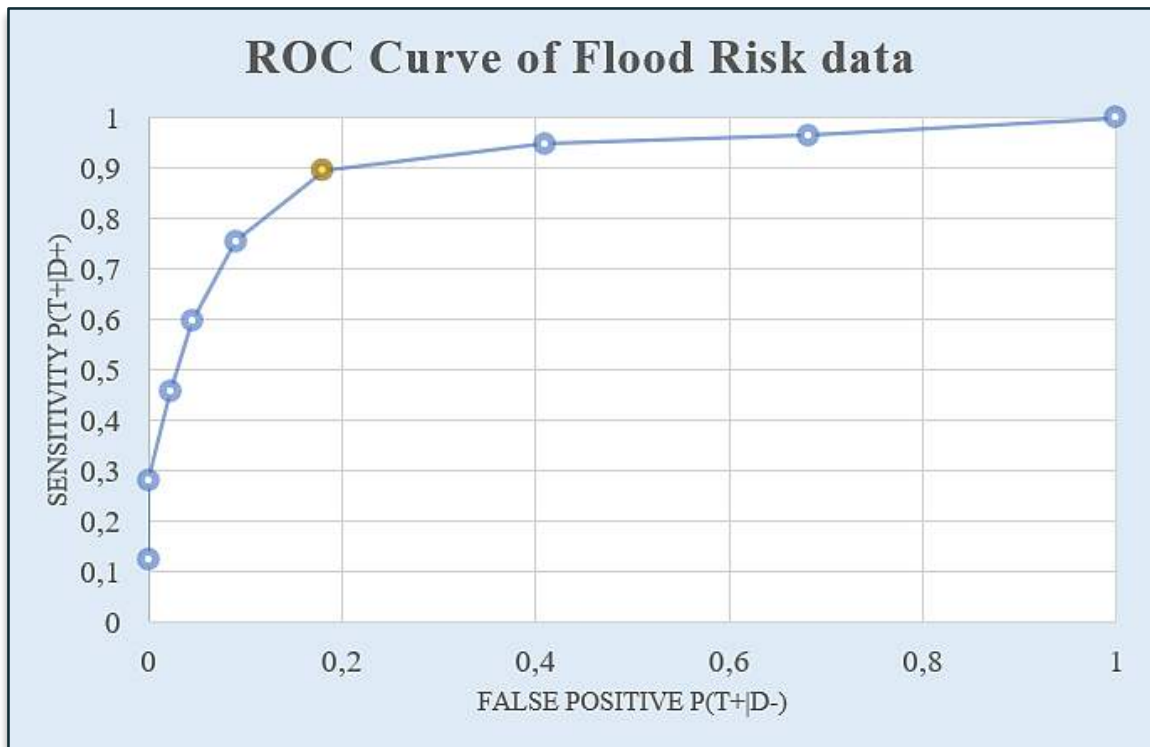


Рисунок 4.7 – Графік ROC-кривої ймовірності вірної роботи моделі

Оцінка моделі отримується обчисленням площі AUC (Area Under Curve) під кривою. Значення AUC становить 0,8285, відповідно до табл. 4.1 – якість моделі є дуже доброю і підходить для подальшого використання.

Це дослідження також показало точність і беззаперечну роль геоформаційних підходів в аналізі природних катастроф, що зумовлює необхідність використання багатоджерелних даних.



## ВИСНОВКИ

Дана робота актуальна для визначення територій мінної небезпеки у випадку ситуації, пов'язаної з повенями та паводками, з використанням ДЗЗ та ГІС-технологій. Даний дипломний проект створений на основі реальних атрибутивних і просторових даних, які отримані з відкритих джерел.

У результаті дослідження було отримано карти небезпеки, вразливості та ризику затоплення в певній частині басейну річки Сула, шляхом аналізу наступних параметрів: висота, нахил, відстань до річки, кількість опадів, землекористування, ґрунтовий покрив, густина населення, відстань до транспортної мережі. Вагу кожного фактору було розраховано за методом ієрархій. Результуюча карта оцінки ризиків виникнення повеней створюється у результаті об'єднання зон небезпеки та вразливості. Карта мінної небезпеки була отримана шляхом накладання територій з високим ризиком затоплення на інтерактивну карту територій, які потенційно можуть бути забруднені вибухонебезпечними предметами, представлену на офіційному сайті ДСНС України. У Model Builder було створено модель, що дозволила автоматизувати процес розрахунку оцінки ризиків затоплення території. Достовірність отриманої моделі було перевірено за допомогою AUC-ROC аналізу, порівнявши результат роботи моделі з результатами реального затоплення, а саме у наслідку руйнування Каховської ГЕС 06.06 2023. Проведені розрахунки виявили добру якість моделі і можливість її використання у подальших дослідженнях.

Практична значимість одержаних результатів:

- 1) Знання ризиків стихійних лих (повені) на основі періодичного збору даних та оцінки ймовірностей їх наростання.
- 2) Виявлення, моніторинг, аналіз та прогнозування розповсюдження мінної небезпеки та можливих наслідків.
- 3) Готовність та можливість реагувати на перших признаках утворення небезпечної ситуації.

4) Управління та прийняття рішень. Отриману модель можна використовувати як орієнтир для потенційних профілактичних заходів не тільки для розмінування території, а й для кращого планування землекористування та управління ризиками повеней. Це дозволить створювати карти небезпек як важливий інструмент для адміністративних органів та персоналу з надзвичайних ситуацій у постраждалих муніципалітетах.

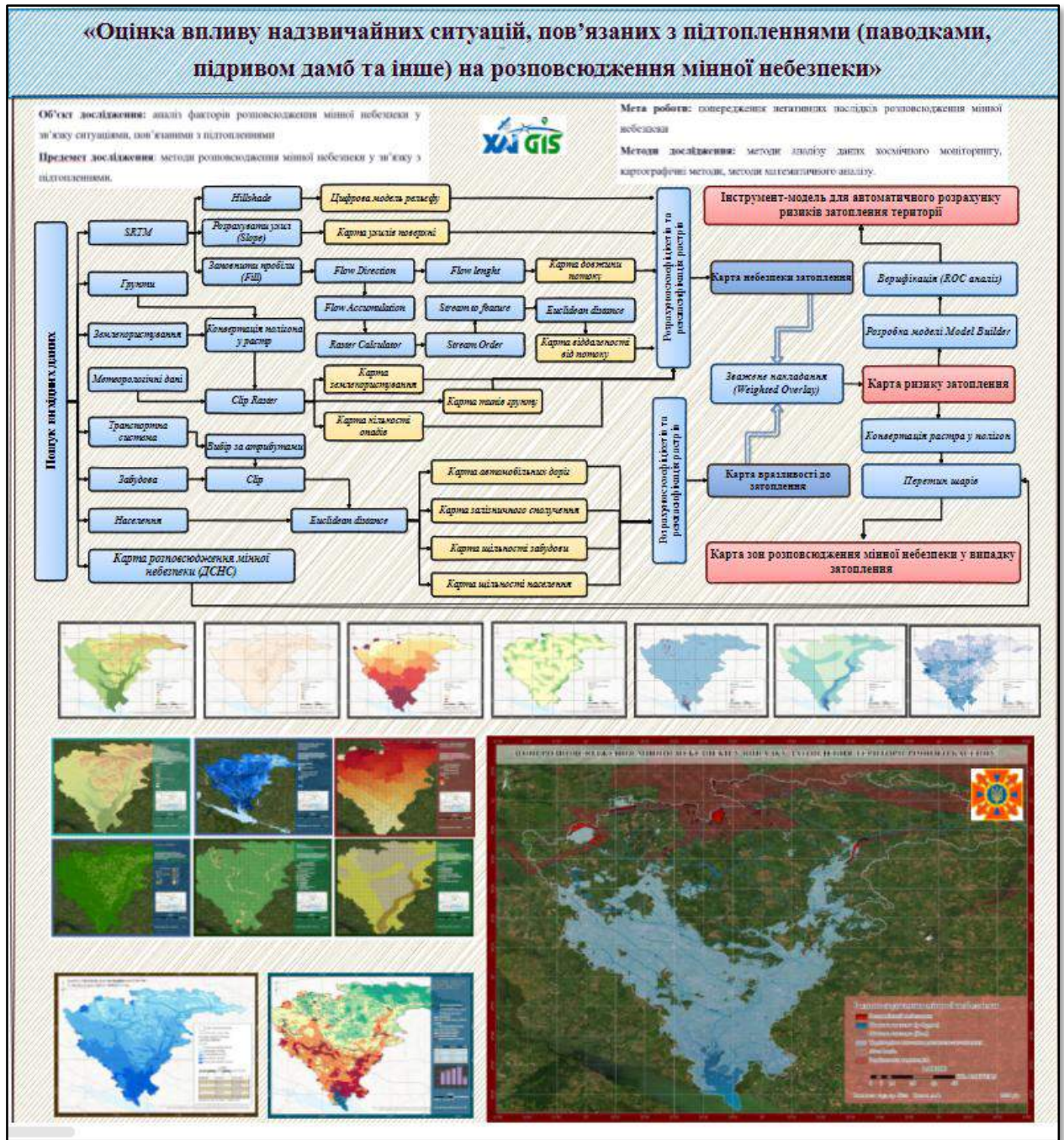
## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Проект «Мед Мінних Полів» допомагатиме збирати кошти на розмінування України. Урядовий портал. URL: <https://www.kmu.gov.ua/news/proekt-med-minnykh-poliv-dopomahatyme-zbyraty-koshty-na-rozminuvannia-ukrainy> (дата звернення: 16.12.2023).
2. Державна служба України з надзвичайних ситуацій. URL: <https://dsns.gov.ua/> (дата звернення 18.10.2023).
3. Istak Ahmed, Nibedita Das (Pan), Jatan Debnath , Moujuri Bhowmik, Shaswati Bhattacharjee. Flood hazard zonation using GIS-based multi-parametric Analytical Hierarchy Process. Department of Geography and Disaster Management, Tripura University, Suryamaninagar 799022, Tripura, India, 2023 URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2772883823000730> (дата звернення 15.10.2023).
4. Open Source Research and Mapping of Explosive Ordnance Contamination in Ukraine. James Madison University - JMU. URL: <https://www.jmu.edu/news/cisr/2022/10/261-2/03-261-mathews.shtml> (дата звернення: 16.12.2023).
5. Geologically-Driven Migration of Landmines and Explosive Remnants of War—A Feature Focusing on the Western Balkans / I. Baselt та ін. Geosciences. 2023. Т. 13, № 6. С. 178. URL: <https://doi.org/10.3390/geosciences13060178> (дата звернення: 10.01.2024).
6. Wever, TF; Unger, M. Promises—Vorhersage von Minenversandung durch Seegang ; Technischer Bericht ТВ 2001-17; Forschungsanstalt der Bundeswehr für Wasserschall und Geophysik: Кіль, Німеччина, 2001.
7. Ренні, С. Експертна система підводних боєприпасів для прогнозування мобільності та захоронення ; Фінальний звіт проекту SERDP MR-2227; Лабораторія прикладної фізики Джона Гопкінса: Лорел, MS, США, 2017. [ Google Scholar ]

8. Ренні, С.; Брандт, А.; Ліго, Дж. Г. Експертна система підводних боєприпасів для керівництва відновленням. Прототип експертної системи підводних боєприпасів: демонстрація та посібник користувача ; Проект ДЕРПД МР-2645; Університет Джона Гопкінса: Лорел, MS, США, 2019. [ Google Scholar ]
9. World Bank Climate Change Knowledge Portal. Home | Climate Change Knowledge Portal. URL: <https://climateknowledgeportal.worldbank.org/> (дата звернення: 10.01.2024).
10. Інформаціо-аналітичний центр служби новин. Компанія "STB". Автор Роман Кульчинський URL: <https://texty.org.ua> (дата звернення 10.01.2024).
11. Джерело інтерактивних карт та інформації стосовно річок. Організація «ЧИСТА ВОДА». Автор статті Наталія Петринська URL: <https://texty.org.ua/water/> (дата звернення 10.01.2024).
12. How Flow Accumulation works—ArcGIS Pro | Documentation. URL: <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/tool-reference/spatial-analyst/how-flow-accumulation-works.htm> (дата звернення: 17.10.2024).
13. Fill (Spatial Analyst)—ArcGIS Pro | Documentation. URL: <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/tool-reference/spatial-analyst/fill.htm> (дата звернення: 17.01.2024).
14. How Stream Order works—ArcGIS Pro | Documentation. URL: <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/3.1/tool-reference/spatial-analyst/how-stream-order-works.htm#:~:text=Stream%20ordering%20is%20a%20method,by%20simply%20knowing%20their%20order.> (дата звернення: 16.10.2023).
15. Stream to Feature (Spatial Analyst)—ArcGIS Pro | Documentation. URL: <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/tool-reference/spatial-analyst/stream-to-feature.htm> (дата звернення: 10.01.2024).

16. Flow Length (Spatial Analyst)–ArcGIS Pro | Documentation. URL: <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/tool-reference/spatial-analyst/flow-length.htm> (дата звернення: 01.01.2024).
17. Flood hazard zonation using GIS-based multi-parametric Analytical Hierarchy Process / I. Ahmed та ін. Geosystems and Geoenvironment. 2023. С. 100250. URL: <https://doi.org/10.1016/j.geogeo.2023.100250> (дата звернення: 07.01.2024).
18. Osman S. A., Das J. GIS-based flood risk assessment using multi-criteria decision analysis of Shebelle River Basin in southern Somalia. SN Applied Sciences. 2023. Т. 5, № 5. URL: <https://doi.org/10.1007/s42452-023-05360-5> (дата звернення: 07.01.2024).
19. Метод аналізу ієрархій - Система підтримки прийняття рішень ІТ-компанії "Тріумф ІТ". Система підтримки прийняття рішень ІТ-компанії "Тріумф ІТ". URL: <https://dss.tg.ck.ua/ahp-help> (дата звернення: 17.01.2024).
20. Учасники проектів Вікімедіа. Метод аналізу ієрархій – Вікіпедія. URL: [https://uk.wikipedia.org/wiki/Метод\\_аналізу\\_ієрархій](https://uk.wikipedia.org/wiki/Метод_аналізу_ієрархій) (дата звернення: 03.01.2024).

ДОДАТОК А





МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ ТА НАУКИ УКРАЇНИ



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

Кафедра «Геоінформаційних технологій та космічного моніторингу Землі»

Кваліфікаційна робота магістра

За спеціальністю «193 Геодезія та землеустрій»

Освітня програма: Геоінформаційні системи та технології

## **«Оцінка впливу надзвичайних ситуацій, пов'язаних з підтопленнями (паводками, підривом дамб та інше) на розповсюдження мінної небезпеки»**

Виконала: студентка 2 курсу групи № 462

Тоцька Аеліта Олександрівна

Керівник: д-р. техн. наук, проф.

Бутенко Ольга Станіславівна



Харків - 2024

## Актуальність теми розповсюдження мінної небезпеки

Україна потерпає від забруднення мінами та вибухонебезпечними об'єктами. За даними Міністерства внутрішніх справ понад 250 000 кв. км наразі є небезпечними для використання для приватні території, так і критичну інфраструктуру. Загрозу несе і водний простір: у випадку підняття рівня води нерозірвані снаряди, міни можуть переміщуватися і детонувати у будь-який момент. Проблема розмінування територій є критично важливим аспектом сучасної безпеки.

**Україна найбільш замінована у країнах у світі**

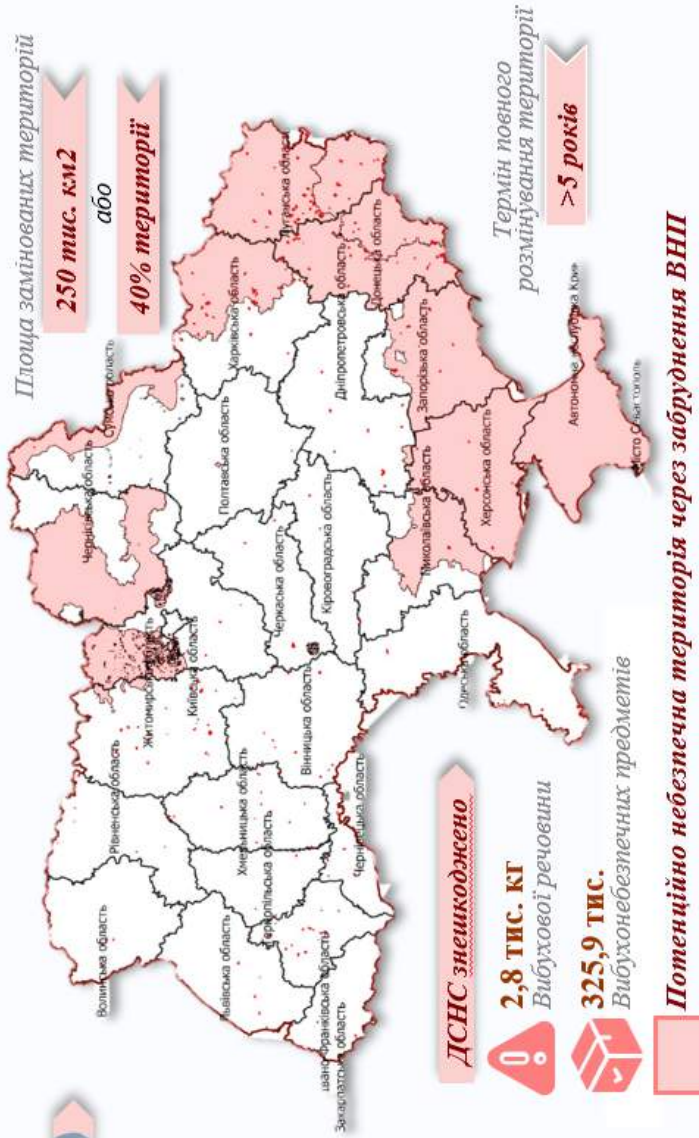
за даними Mines Advisory Group

**Об'єкт дослідження:** аналіз факторів розповсюдження мінної небезпеки у зв'язку ситуаціями, пов'язаними з підтопленнями

**Предмет дослідження:** методи розповсюдження мінної небезпеки у зв'язку з підтопленнями.

**Мета роботи:** попередження негативних наслідків розповсюдження мінної небезпеки

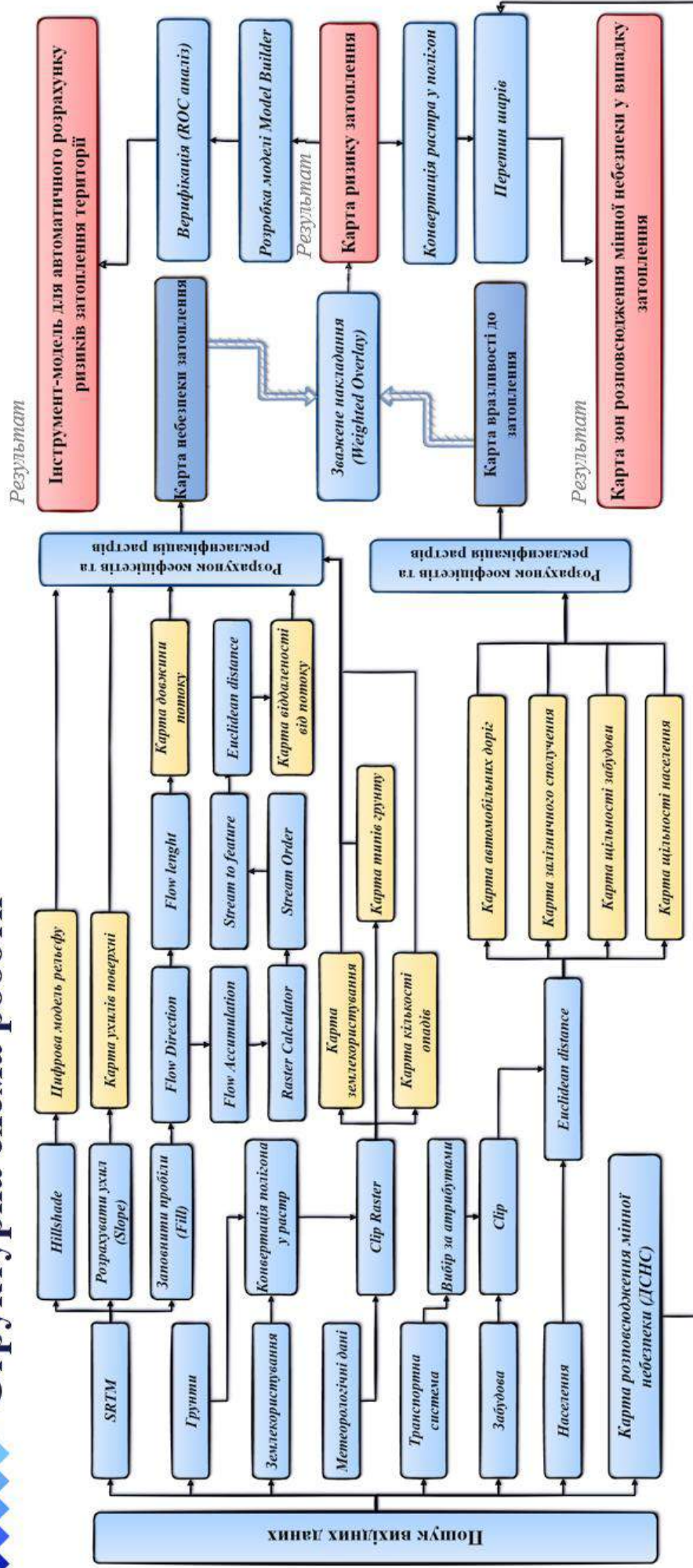
**Методи дослідження:** методи аналізу даних космічного моніторингу, картографічні методи, методи математичного аналізу.



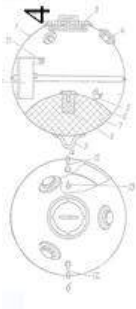


# Структурна схема роботи

3



## Розповсюдження мінної небезпеки водним шляхом

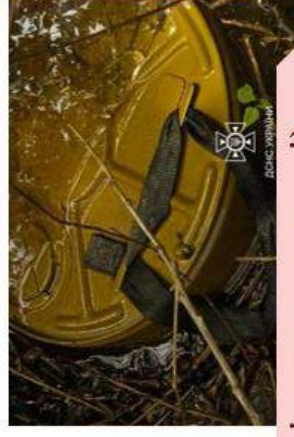


В цілому, на території України може зустрічатися понад 50 різних видів вибухонебезпечних боєприпасів. Внаслідок підриву Каховської ГЕС у річці Дніпро спостерігається велика кількість мін, які вже виносить на берег. Вздовж берегів Дніпра, чорноморського узбережжя Миколаївської та Одеської областей посилено мінну небезпеку. Вода зриває міни. Вони дрейфують і можуть прибиватися і до правого берега. Міни також підриваються, стикаючись з різними предметами у воді.

<b>ВНП</b>
<u>Противіхотні міни</u>
<u>Касетні боєприпаси</u>
<u>Міни-пастки</u>
<u>Ручні гранати</u>
<u>Авіаційні ракети</u>
<u>Артилерійські снаряди</u>
<u>Мінометні міни</u>
<u>Противанкові міни</u>
<u>Противанкові керовані ракети</u>
<u>Авіаційні бомби</u>
<u>Реактивні снаряди</u>



«Лепесток» (ПФМ-1) дуже легка міна, що може плисти за течією на дуже велику відстань.



Раніше ми знали, де небезпечні місця, але тепер це невідомо



Гребля Каховської ГЕС у 2021 році та після підриву 6 червня 2022 року

Переміщення мін та інших боєприпасів у зоні підтоплення Каховської ГЕС а) Якірна річкова міна; б) Противіхотні міни фугасної дії ТМ-62М

## Причини та наслідки виникнення повеней

Негативні наслідки від повеней і паводків проявляються на 27% території України. Наслідком затоплення і підтоплення земель є заболочення ґрунтів, змив гумусового шару, замулення верхнього горизонту ґрунту неродючими алювіальними делювіальними наносами, вимивання корисних мінеральних солей, мікроелементів з продуктивного шару ґрунту та інші негативні явища, зокрема розповсюдження мінної небезпеки.



Весняного волопідлля на р. Десні біля м. Чернігова



Паводок на р. Дністер біля м. Галич, 2020 рік



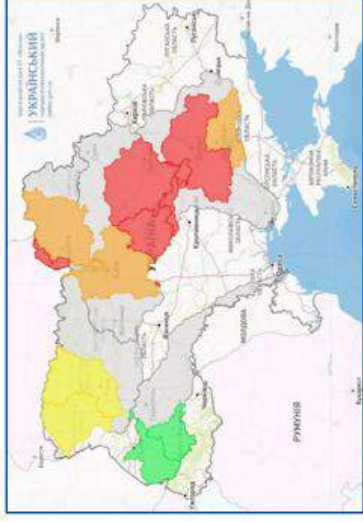
Розлив басейнів р. Прут і р. Тиса, червень 2020 рік



Затоплений Херсон (Каховська ГЕС), 2023 рік



### Основні превентивні заходи з попередження повеней:



### Причини повеней

#### Природні:

інтенсивність опадів, тривалі дощі, шпормові зливи, танення снігу та льоду, зсуви, підняття рівня ґрунтових вод, зміна клімату, завали на річках через землетруси, гірські зсуви, виникнення цунамі.

#### Антропогенні:

вирубка лісів, несанкціонований відбір ґравію з гірських річок, спрямлення русел, порушення правил користування прибережними смугами, водоохоронними смугами, зашлямами річок, нерациональне використання землі, неякісне будівництво дамб.

## Область дослідження: басейн ріки Сула

Сула - ліва притока Дніпра, що протікає лісостепами Сумщини, Черкащини та Полтавщини.

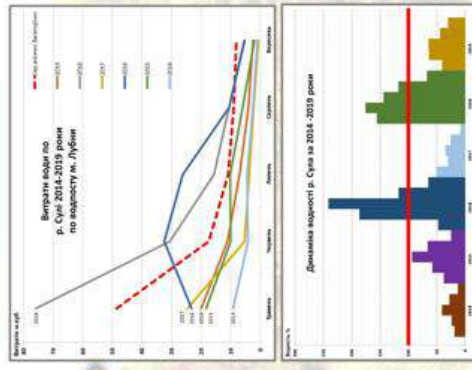
Довжина річки – 363 км, площа басейну 19 600 км<sup>2</sup>.

Річище звивисте, подекуди розгалужене, з пересічною шириною 10-75 м (на плесах до – 250 м), та глибинами 1,5-3,5 м. Течія швидка, подекуди до 0,6 км/год.

Річка використовується для водопостачання; багата на рибу, а в нижній течії (від Лубен) – судноплавна. Є водосховища і чимало ставків.

6

Через замулення та зменшення стоку води русло річки масово заростає болотною і деревною рослинністю.



Параметри аналізу	
1	Опади
2	Ухил поверхні
3	Довжина потоку
4	Вістань від потоку
5	Тип ґрунту
6	Землекористування
7	Висота (ЦМР)



## Отримання вихідних даних

Щоб створити карту вразливості до затоплення для певної території, потрібно кілька наборів геопросторових даних із кількох джерел. Нижче наведено деякі з них:



Food and Agriculture Organization of the United Nations



Доступ до метеорологічних супутників PERSIANN-CCS та PERSIANN-CDR.

HydroSHEDS

База цифрових даних для підтримки гідрологічних досліджень



топографічна цифрова модель висот Землі



Copernicus - європейська програма моніторингу Землі з використанням комбінації супутникових і наземних датчиків



The Humanitarian Data Exchange (HDX) - це відкрита платформа для обміну даними для аналізу.

7

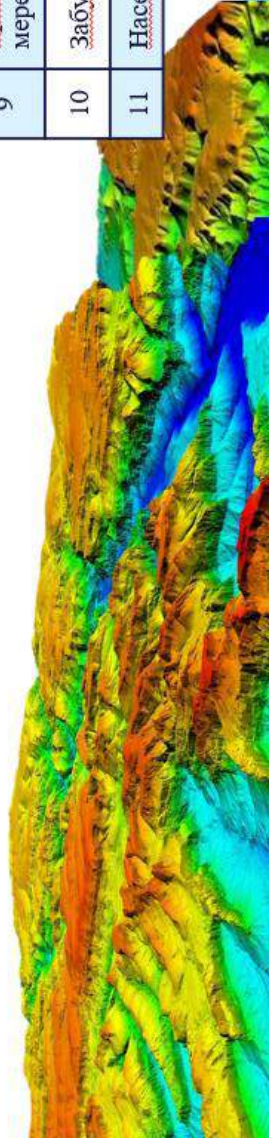


Карта небезпеки затоплення

Карта вразливості до затоплення

№	Параметри аналізу	Роздільна здатність	Рік отримання	Джерело даних
1	Опади (мм)	0.25° x 0.25°	Near real-time with 2 day delay	CHRS Data Portal
2	Ухил	30 meters	2000	USGS Earth...
3	Довжина потоку	30 meters	2000	USGS Earth Explorer
4	Відстань від потоку	30 meters	2000	USGS Earth Explorer
5	Висота	30 meters	2000	USGS Earth...
6	Землекористування	100 m	Updated annually (2019)	Copernicus Global Land Service
7	Тип ґрунту	5 * 5 arc min	2000	FAO/UNESCO
8	Гідрографія	3 arc-second	2021	HydroSHEDS
9	Транспортна мережа	2-5 м	2004-2024	OSM
10	Забудова	2-5 м	2004-2024	OSM
11	Населення		2022	HDX

Карта ризику затоплення території



# Розрахунок растру відстаней від потоку



8

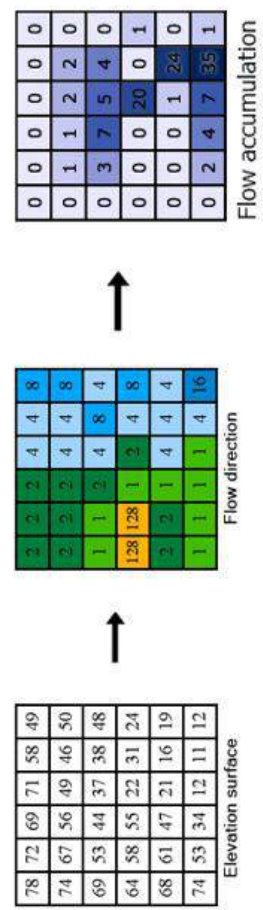
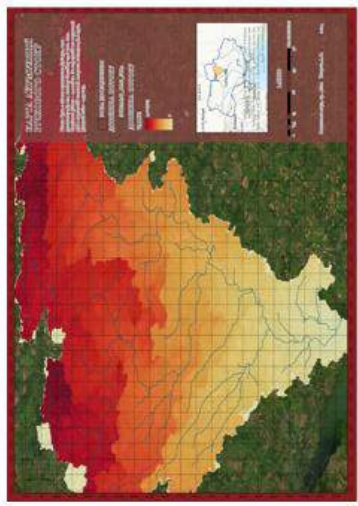
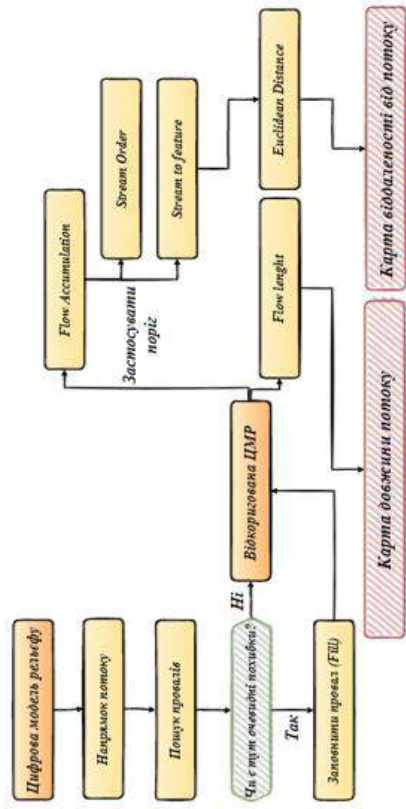
**Sink** – це поглиблення, що перешкоджає природному дренажу води.

**Fill sink** – Заповнення: усі раковини, які нижчі за z-ліміт і нижчі за їхніх найнижчих сусідніх сусідів, будуть заповнені до висоти їхніх точок застигання.

**Flow direction** – напрямок течії води в нашій DEM. Максимальна кількість напрямків потоку може бути лише 8.

**Flow Accumulation** – визначення точного розташування потоків шляхом розрахунку площ, де вода накопичується найбільше.

**Flow length** - обчислює відстань вище або нижче за течією або зважену відстань уздовж шляху потоку для кожної комірки.



# Рекласифікація растрів

1	Малозначний різник
2	Низький різник
3	Помірний різник
4	Високий різник
5	Дуже високий різник

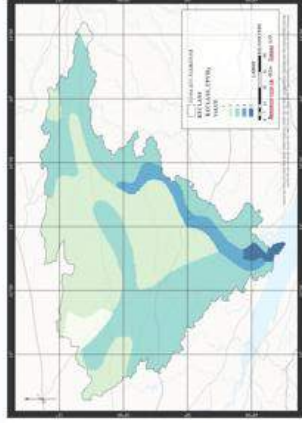
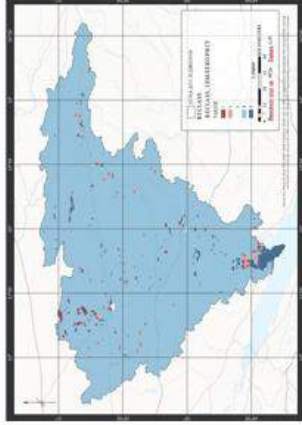
Якщо потрібно перекласифікувати діапазон значень, діапазони не повинні перекриватися, за винятком межі двох вхідних діапазонів.

## Методи класифікації

**Natural break** Unique Value

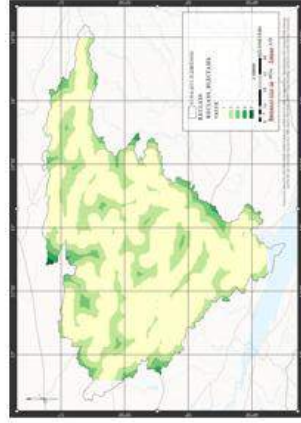
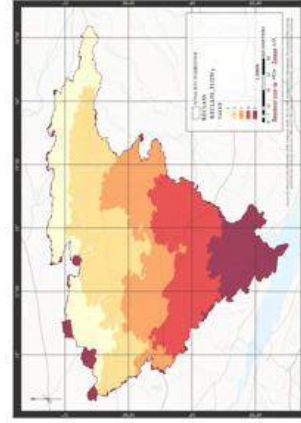
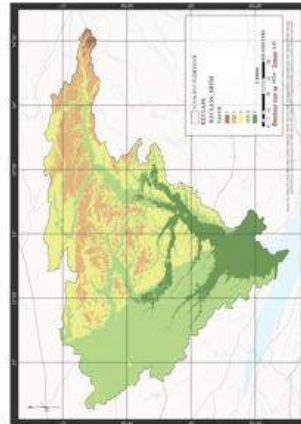
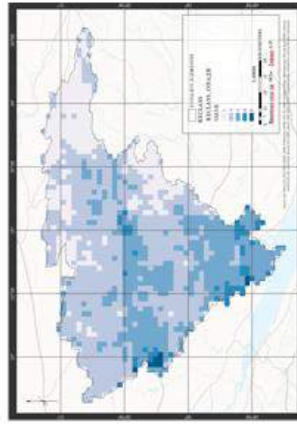
*Об'єкти поділяються на класи, межі яких встановлюються там, де є відносно великі відмінності у значеннях даних.*

*Унікальні цінності символізують якісні категорії цінностей. Прикладами є типи землекористування та класифікації ґрунтів.*



Широколистяний	2
Хвойний ліс	2
Гола ділянка, укріплена (гравій, камінь)	1
Міська територія	3
Чагарник	4
Розріджена рослинність	4
Водно-болотне угіддя	5

Лучно-чорноземні	4	Буроземно-підзолісті	2
Лучно-болотні	5	Чорноземи реградовані	4
Дерново-підзолісті	1	Лучні	5
Дернові піщані	2	Дернові піщані	1
Чорноземи звичайні	3	Коричневі гірські	2
Чорноземи південні	2	Темно-сірі опідзолені	3



## Метод аналізу ієрархій

Метод аналізу ієрархій (МАІ) – математичний інструмент системного підходу до вирішення складних проблем прийняття рішень.

$$CR = \frac{CI}{RI}$$

де CR – коефіцієнт консистенції,

CI – індекс консистенції,

RI – випадковий індекс.

Результуюче значення CR визначає узгодженість матриці. Значення > 0,1 вказує на те, що матриця є ненадійною, тоді як CR<0,1 вказує на те, що матриця є надійною.

11

Пара-метри	Опади	Ухил поверхні	Довжина потоку	Відстань від потоку	Тип ґрунту	Землеві користа ння	Висота (DEM)	Criteria Weights
Опади	1	2	2	2	3	5	9	0,2391
Ухил поверхні	0,5	1	3	5	7	8	8	0,2528
Довжина потоку	0,5	0,3333	1	3	3	5	9	0,1629
Відстань від потоку	0,5	0,2	0,3333	1	2	3	7	0,1216
Тип ґрунту	0,3333	0,1428	0,3333	0,5	1	4	5	0,1034
Землеві користа ння	0,2	0,125	0,2	0,3333	0,25	1	3	0,0645
Висота (DEM)	0,1111	0,125	0,1111	0,1428	0,2	0,3333	1	0,0557

Н	1	2	3	4	5	6	7	8	9
RI	0	0	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45

**Правило транзитивності не порушено оскільки CR = 0, 083. Оцінки змін не потребують.**





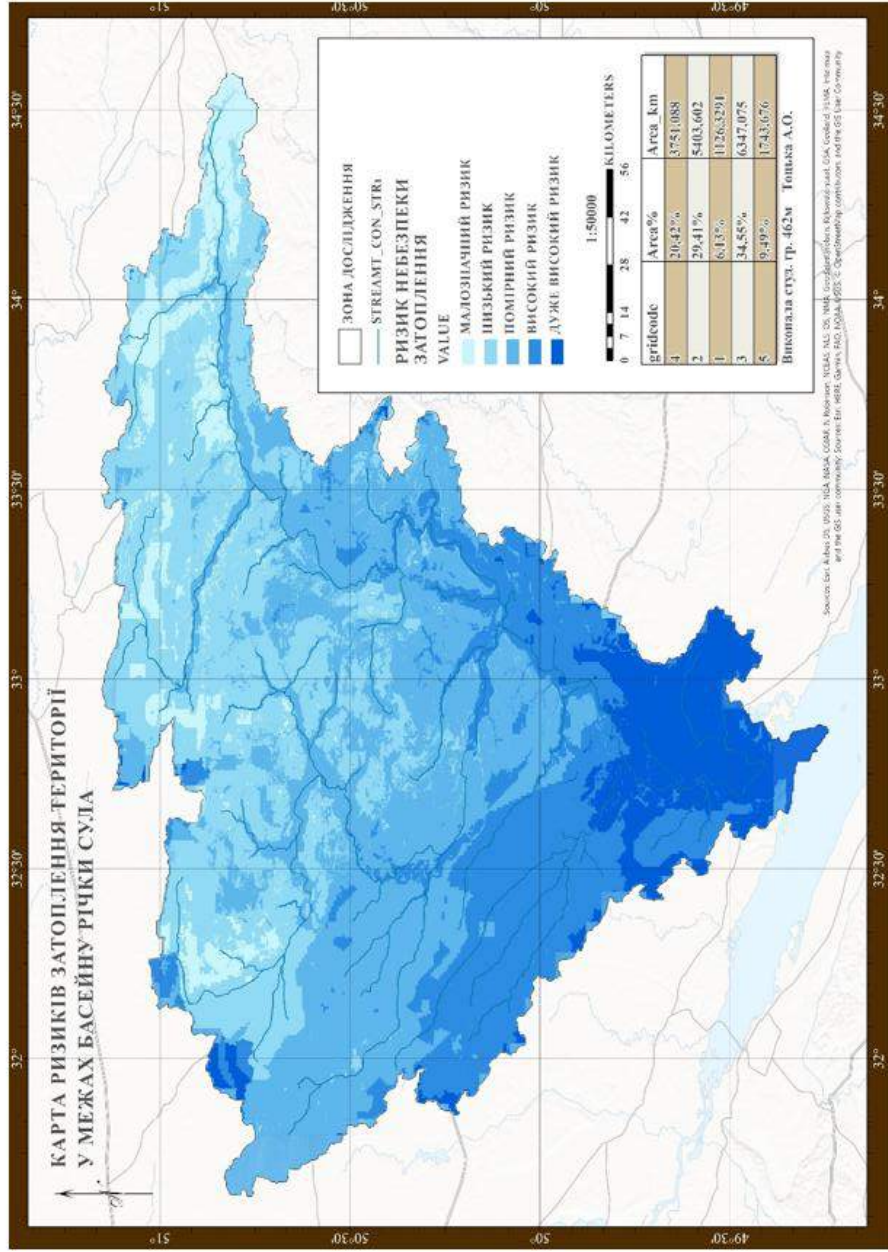
## Визначення ваги параметрів аналізу

12

№	Параметр	Суб фактор	Рівень небезпеки	Вага
1	Опади	297-481,8	Малозначний ризик	0,2391
		421,8-546,6	Низький ризик	
		564,6-671,4	Помірний ризик	
		671,4-796,2	Високий ризик	
		796,2-921	Дуже високий ризик	
2	Ухил поверхні	15,72-12,57	Малозначний ризик	0,2528
		12,57-9,43	Низький ризик	
		9,43-6,28	Помірний ризик	
		6,28-3,14	Високий ризик	
		3,14-0	Дуже високий ризик	
3	Довжина потоку	0-0,8410	Малозначний ризик	0,1629
		0,8410-1,6821	Низький ризик	
		1,6821-2,5231	Помірний ризик	
		2,5231-3,3642	Високий ризик	
		3,3642-4,2052	Дуже високий ризик	
4	Відстань від потоку	0,238-0,191	Малозначний ризик	0,1216
		0,191-0,143	Низький ризик	
		0,143-0,095	Помірний ризик	
		0,095-0,047	Високий ризик	
		0,047-0	Дуже високий ризик	

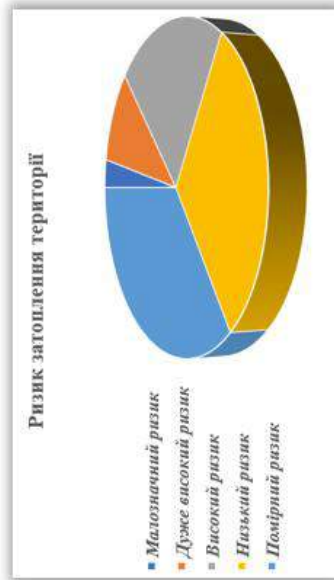
№	Параметр	Суб фактор	Рівень небезпеки	Вага пар-ра
5	Тип ґрунту	Каштанові	Малозначний ризик	0,1034
		Черноземи типові	Низький ризик	
		Темно-сірі опідзолені	Помірний ризик	
		Лучно-черноземні	Високий ризик	
		Лучні	Дуже високий ризик	
6	Землевикористання	Широколистяний ліс, Мішаний ліс	Малозначний ризик	0,0645
		Хвойний ліс, Хвойно-листяний ліс	Низький ризик	
		Міська територія	Помірний ризик	
		Дерево відкрите, чагарник, Орні землі	Високий ризик	
		Трав'янистий, Розріджена рослинність, Водні об.	Дуже високий ризик	
7	ЦМР	222-192,2	Малозначний ризик	0,057
		192,2-162,4	Низький ризик	
		162,4-132,6	Помірний ризик	
		132,6-102,8	Високий ризик	
		102,8-73	Дуже високий ризик	

# Карта безпеки затоплення річного басейну

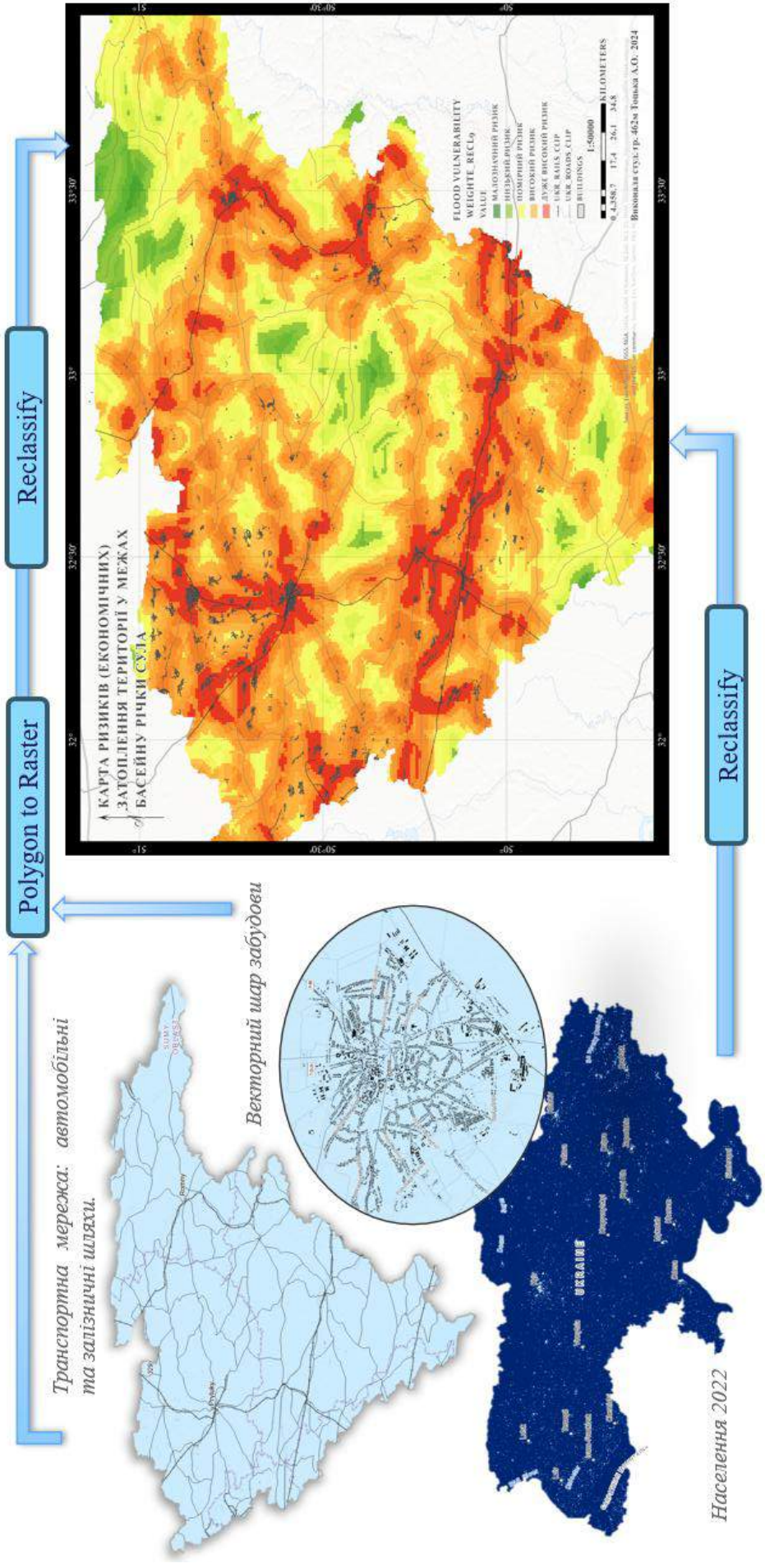


OBJECTID	gridcode	Shape	Area_L	Area%
3	1	Polygon	126,3291	6,13%
53	5	Polygon	1743,676	9,49%
1	4	Polygon	3751,088	20,42%
2	2	Polygon	5403,602	29,41%
10	3	Polygon	6347,075	34,55%

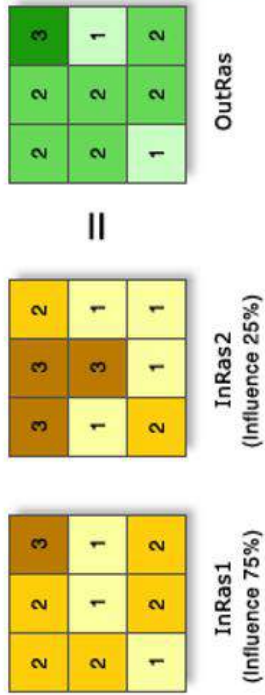
Click to add new row.



# Карта вразливості до затоплення річного басейну

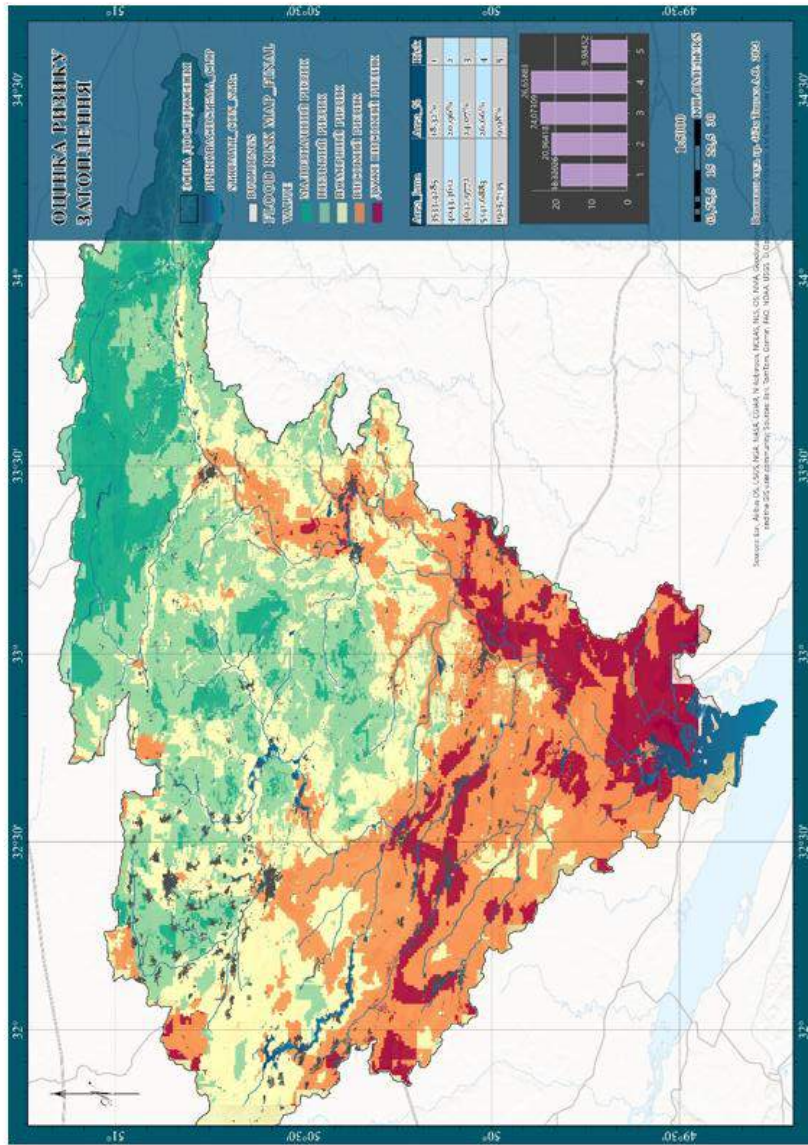


## Об'єднання карт небезпеки і вразливості у карту ризику затоплення



Накладає кілька растрів за допомогою загальної шкали вимірювань і вагомість кожного відповідно до його важливості.

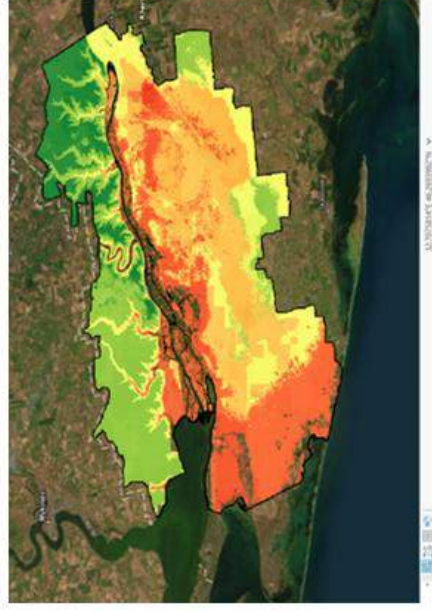
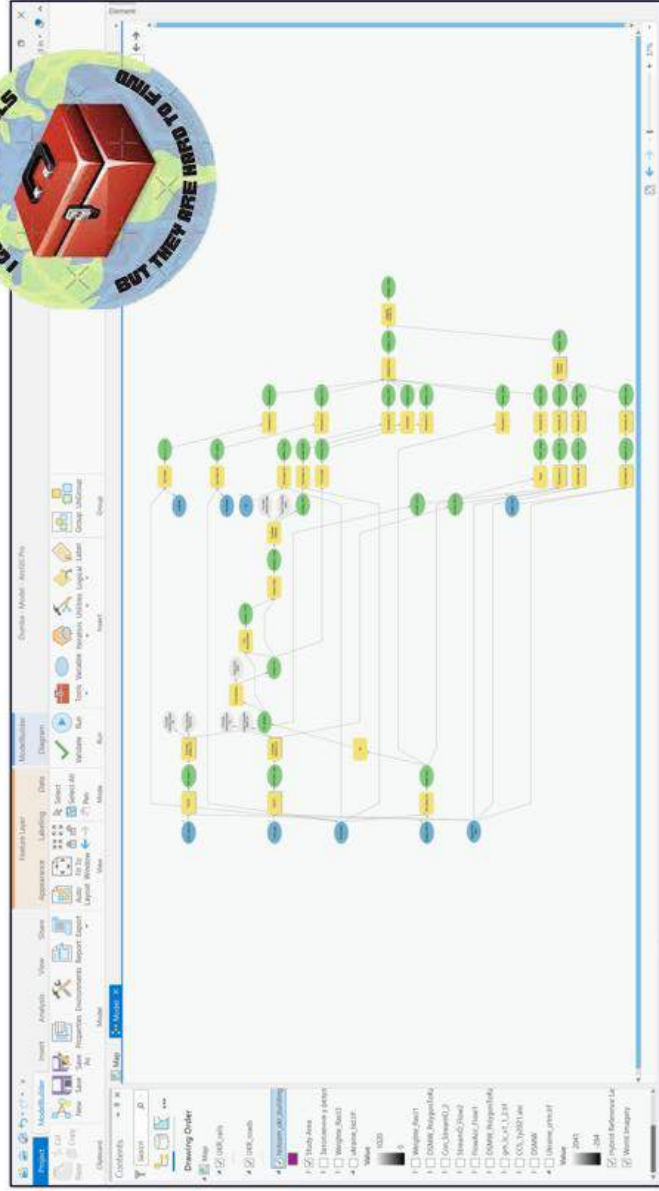
На ілюстрації два вхідних растри було перекласифіковано до загальної шкали вимірювання від 1 до 3. Кожному растру присвоєно відсоток впливу. Значення клітинок множаться на їх вплив у відсотках, а результати додаються разом для створення вихідного растру.





## Автоматизація оцінки ризиків затоплення: створення набору інструментів у ArcGIS

ModelBuilder – це програма, яку ви використовуєте для створення, редагування та керування моделями.



Моделі — це робочі процеси, які об'єднують послідовності інструментів геообробки, надаючи вихідні дані одного інструменту іншому інструменту як вхідні дані. ModelBuilder також можна розглядати як мову візуального програмування для створення робочих процесів.



## Валідація отриманих результатів за допомогою AUC-ROC аналізу

17

ROC-крива виходить у такий спосіб: 1. Для кожного значення порога відсікання, що міняється від 0 до 1 із кроком  $dx$  (наприклад, 0,01) розраховуються значення чутливості  $Se$  і специфічності  $Sp$ . Як альтернатива порогом може бути кожне наступне значення приклада у вибірці.

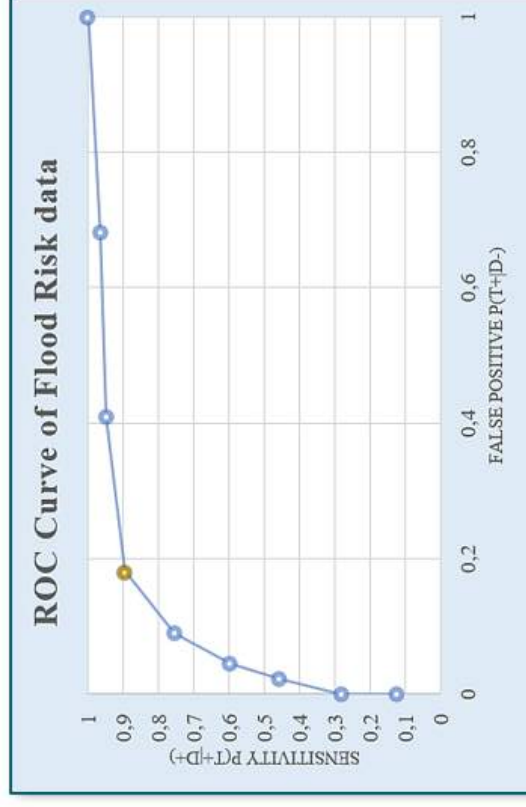
$$Se = TPR = \frac{TP}{TP + FN} \cdot 100\%$$

Чутливість - частка істинно позитивних випадків

$$Sp = \frac{TN}{TN + FP} \cdot 100\%$$

Специфічність - частка істинно негативних випадків

де TP (True Positives) – істинно позитивні випадки; TN (True Negatives) – істинно негативні випадки; FN (False Negatives) – позитивні приклади, класифіковані як негативні (помилка I роду); FP (False Positives) – негативні приклади, класифіковані як позитивні.



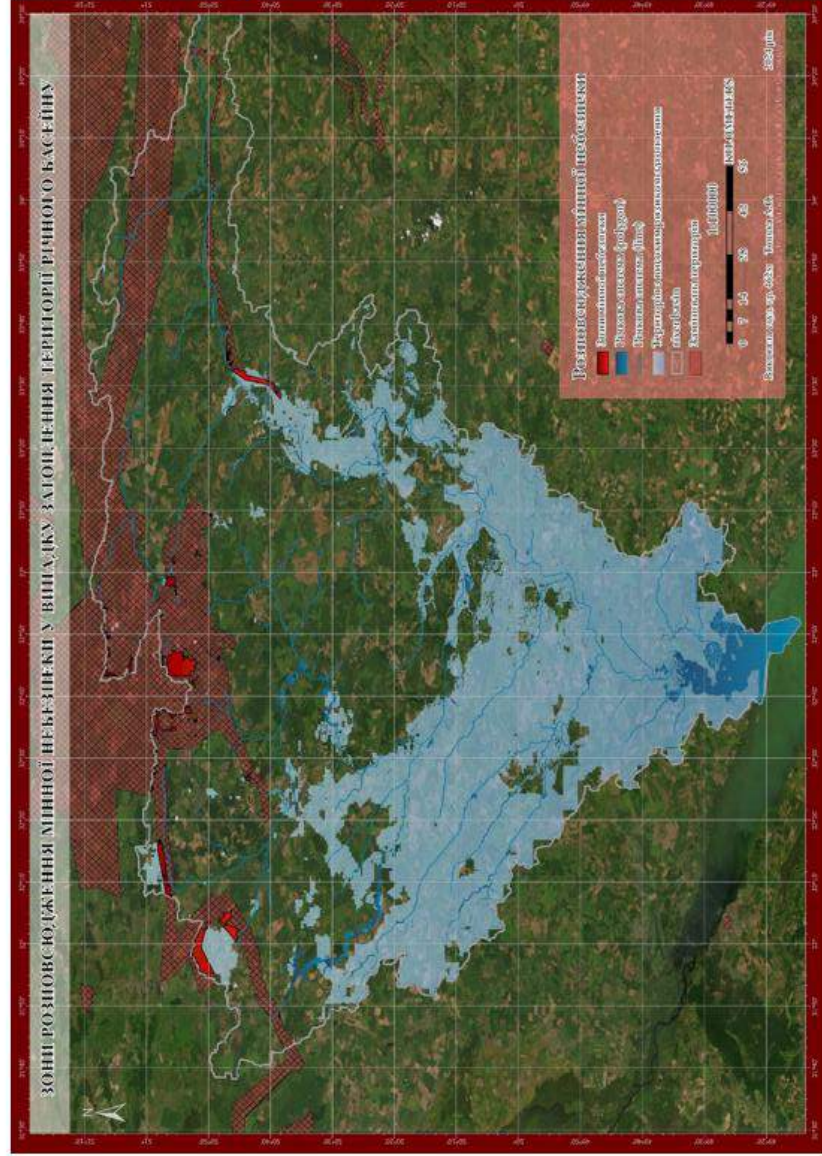
AUC значення	Якість моделі
0,9-1,0	Чудова
0,8-0,9	Дуже добра
0,7-0,8	Добра
0,6-0,7	Задовільна
0,5-0,6	Незадовільна

Оцінка моделі отримується обчисленням площі AUC (Area Under Curve) під кривою:

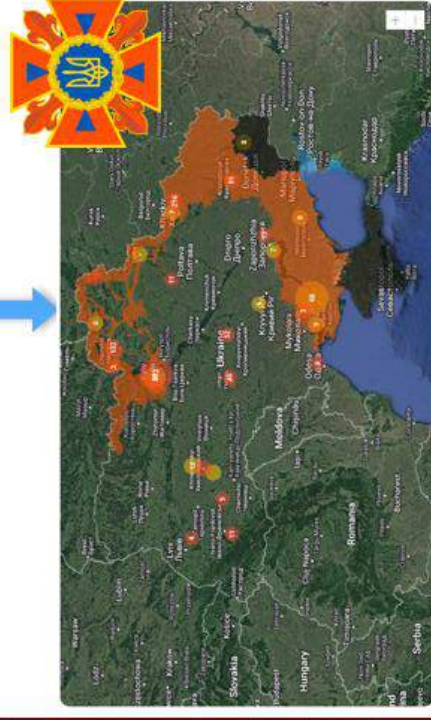
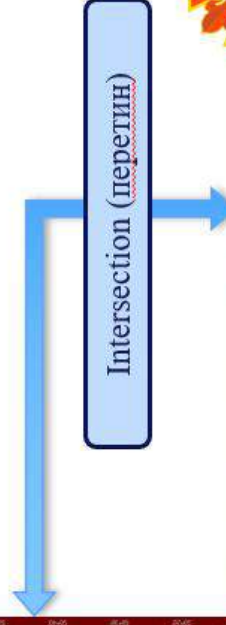
$$AUC = \int f(x) dx = \frac{1}{2} \sum_i (x_{i+1} + x_i)(y_{i+1} + y_i)$$

***AUC = 0.8884, отже отримана модель є дуже доброю і може використовуватись для підтримки прийняття рішень.***

## **Визначення зон розповсюдження мінної небезпеки у випадку загрози загрози загрози**

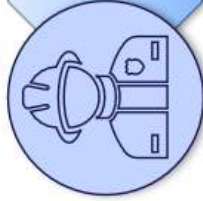


Інтерактивна мапа територій, які потенційно можуть бути забруднені вибухонебезпечними предметами. Сервіс прогнаних діяльності ДСНС України - <https://mine.dsns.gov.ua/>



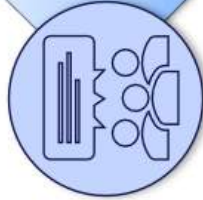
## **Приклади застосування розробленої методики оцінки розповсюдження мінної небезпеки**

19



### **Допомога при розмінуванні території:**

За допомогою моделі можна відслідкувати розповсюдження мінної небезпеки за течією. При появі перших признаков можливого паводку, в першу чергу розмінувати територію, що мають високий та дуже високий ризик затоплення.



### **Ефективна допомога населенню:**

Управління рятувальними операціями. Карта вразливості до затоплення демонструє зони, що понесуть найбільші втрати у випадку затоплення і де евакуація буде необхідна в першу чергу. Рекомендовано написати інструкції зі сповіщення і популяризувати порядок дій у надзвичайній ситуації серед людей, що мешкають у зонах з великим ризиком затоплення.



### **Мінімізація впливу на довкілля та економіку:**

Розроблену модель можна використовувати виключно для оцінки ризиків можливого затоплення: розробити плани керування ризиками, нічого не будувати у зонах з дуже високим ризиком затоплення, підготувати господарську діяльність до можливого затоплення, відновлювати природні річки та їхні заплави.



*Наведені приклади показують, що розроблена методика може мати широкий спектр застосувань в управлінні ризиками та надзвичайними ситуаціями, пов'язаними з підтопленнями та мінною небезпекою.*



## Висновки та результати

Дана робота актуальна для визначення території мінної небезпеки у випадку ситуації, пов'язаної з повеннями та паводками, з використанням ДЗЗ та ГІС-технологій. Даний дипломний проект створений на основі реальних агрибутивних і просторових даних, які отримані з відкритих джерел.

У результаті дослідження було отримано карти небезпеки, вразливості та ризику затоплення в певній частині басейну річки Сула, шляхом аналізу факторів, що викликають повені, за допомогою MAI. За допомогою програмного забезпечення Arc GIS під час розробки карти небезпеки, уразливості та ризику повені було враховано наступні параметри: висота, нахил, відстань до річки, кількість опадів, землекористування, ґрунтовий покрив, густота населення, відстань до транспортної мережі. Остаточна карта ризиків повеней створюється у результаті об'єднання зон небезпеки та вразливості. Карта мінної небезпеки була отримана шляхом накладання території з високим ризиком затоплення на інтерактивну карту території, які потенційно можуть бути забрулені вибухонебезпечними предметами, представлену на оф. Сайті ДСНС України.

Практична значимість одержаних результатів:

- Як наслідок, в умовах зміни клімату особи, які приймають рішення, можуть використовувати цю карту як орієнтир для потенційних профілактичних заходів, кращого планування землекористування та управління ризиками повеней. Щоб сформулювати точку зору дослідження, яка може покращити та уточнити отримані дані, місія, класифіковані як високого та дуже високого ризику, вимагають подальшого масштабованого картографування з використанням супутникових зображень із високою просторовою роздільною здатністю.

Це дослідження також показало точність і беззаперечну роль геоформатійних підходів в аналізі природних катастроф, що зумовлює необхідність використання багатоджерельних даних.

- 1) Тоцька А.О., Використання 5G для підвищення ефективності проведення сільськогосподарських робіт., I Міжнародна науково-практична конференція «Подолання екологічних ризиків та загроз для довкілля в умовах надзвичайних ситуацій – 2022», м. Полтава - Львів, С. 598-600
- 2) Тоцька А.О., Оптимізація вибору місця розташування антени прийому даних дистанційного зондування землі, Конкурс наукових робіт м. Львів 2021
- 3) Тоцька А.О., Обробка результатів геодезичних вимірювань з використанням програмного комплексу «Digitals», Науково-практична конференція 2019, м.Харків.
- 4) Тоцька А.О., Розробка структурної схеми проекту Windows Form для прогнозування масштабів зон зараження сильнотоксичними отруйними речовинами, Науково-практична конференція 2018, м.Харків.