

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
«ДНІПРОВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»**

**ІВАНОВ ДЕНИС ВАЛЕРІЙОВИЧ**



УДК 004.9:528.7

**ГЕОІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ПРОГНОЗУВАННЯ ТА ОЦІНКИ  
ЗАТОПЛЕННЯ ТЕРИТОРІЙ ПРИ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ**

05.13.06 – Інформаційні технології

**АВТОРЕФЕРАТ**

дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Дніпро – 2025

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Національному технічному університеті «Дніпровська політехніка» Міністерства освіти і науки України.

**Науковий керівник:** доктор технічних наук, професор  
**БУСИГІН Борис Сергійович**

**Офіційні опоненти:** доктор технічних наук, доцент  
**Рак Тарас Євгенович,**  
керівник освітніх програм Приватного закладу вищої освіти «ІТ СТЕП Університет»

кандидат технічних наук, доцент  
**Кавац Юрій Віталійович,**  
доцент кафедри інформаційних технологій і систем  
Українського державного університету науки і технологій

Захист відбудеться «10» квітня 2025 року о 13<sup>00</sup> годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 08.080.07 у Національному технічному університеті «Дніпровська політехніка» за адресою: 49005, м. Дніпро, пр. Дмитра Яворницького, 19. тел. +38-056-744-14-11, +38-0562-47-08-10.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Національного технічного університету «Дніпровська політехніка» за адресою: 49005, м. Дніпро, пр. Дмитра Яворницького, 19.

Автореферат розісланий «06» березня 2025 року.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради Д 08.080.07,  
кандидат технічних наук, доцент

І. М. Удовик

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

### **Актуальність теми.**

Актуальність дисертаційного дослідження визначається необхідністю розробки ефективних методів прогнозування та оцінки затоплення територій у надзвичайних ситуаціях. Затоплення територій є наслідком складної взаємодії метеорологічних і антропогенних факторів. Незалежно від їхнього походження, затоплення територій має катастрофічні наслідки, серед яких руйнування будівель, інфраструктури та сільськогосподарських угідь. Однією з головних змін у землекористуванні стало зростання урбанізації, що впливає на гідрологічні процеси. Ця тенденція є особливо актуальною в сучасному світі, де мегаполіси та міські агломерації постійно зростають, а земельні ресурси стають обмеженими. Урбанізація призводить до збільшення площі асфальтованих поверхонь, що знижує водопроникність ґрунтів та збільшує ризик затоплення під час сильних дощів або відтавання снігу. Крім того, зміни в природному середовищі, такі як вирубка лісів та руйнування екосистем, також сприяють збільшенню ризику затоплення територій. Зменшення природних водозбірних і поглинальних бар'єрів, таких як лісові масиви та водно-болотні угіддя, призводить до більш швидкого відведення великих обсягів води. Це, в свою чергу, сприяє швидкому заповненню низинних територій і міських районів водою, що може призвести до їх затоплення. У зв'язку з цим важливим аспектом є впровадження сучасних методів аналізу зон затоплення територій. Своєчасне та оперативне виявлення таких зон стає ключовим завданням для збереження життя людей, захисту інфраструктури, а також для зниження екологічних і економічних втрат. Отримання інформації про елементи та явища, які неможливо спостерігати безпосередньо на місці, є важливою складовою для управління ризиками затоплення територій, особливо в умовах надзвичайних ситуацій, зокрема, військових конфліктів. Створення спеціалізованих карт зон затоплення територій, що містять додаткові дані для тактичного планування, є необхідним інформаційним ресурсом для забезпечення належного рівня безпеки та ефективного управління під час надзвичайних ситуацій. Для їх розробки використовують супутникові знімки, які надають оперативну та достовірну інформацію про географічні об'єкти та зони ризику затоплення територій. Поставлена задача прогнозування й оцінки наслідків затоплення територій при надзвичайних ситуаціях є комплексною проблемою, для вирішення якої необхідним є виконання основних наступних процесів:

- комп'ютерне моделювання зон затоплення територій на основі математичних розрахунків відповідних параметрів, наприклад, хвилі прориву дамби та аналізу гідрологічних характеристик;
- цифрове картографування отриманих результатів для створення візуалізацій потенційно затоплених територій з урахуванням інфраструктурних об'єктів;
- аналіз та прогнозування зон затоплення з використанням геоінформаційних технологій для підвищення оперативності та точності оцінки наслідків затоплення територій.

Таким чином, питання прогнозування та оцінки затоплення територій при надзвичайних ситуаціях залишається актуальним й вимагає подальших наукових розробок. Застосування різночасової космічної зйомки в поєднанні з новітніми геоінформаційними технологіями та методами машинного навчання дозволить створити точні моделі для прогнозування та оцінки затоплень територій, та в результаті підвищити ефективність моніторингу водних ресурсів при надзвичайних ситуаціях.

### **Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.**

Тема дисертаційної роботи повністю відповідає науковим напрямкам, які виконуються в Національному технічному університеті «Дніпровська політехніка». Робота виконана на кафедрі інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії Національного технічного університету «Дніпровська політехніка» в межах НДР 0121U114523 «Моделі й інформаційні технології обробки та аналізу даних в складних комп'ютерних системах і мережах» (2022-2024р.) та кафедри програмного забезпечення комп'ютерних систем НТУ «Дніпровська політехніка» «Методи, моделі та технології обробки даних в комп'ютерних системах загального та спеціального призначення» (державний реєстраційний номер 0121U113718), «Високопродуктивні багатопроекторні системи: особливості конструювання, дослідження оцінок ефективності, застосування до розв'язування прикладних задач» (державний реєстраційний номер 0122U201569). Результати досліджень впроваджено в освітній процес Національного технічного університету «Дніпровська політехніка», роботу ТОВ «КОМПАНІЯ ГЕОНІКС» (Київська обл., Бучанський р-н, смт. Клавдієво-Тарасове) та ТОВ ФІРМА «ГЕОРА» (м. Дніпро).

### **Мета і завдання дослідження.**

**Метою** дисертаційної роботи є підвищення точності прогнозування та оцінки наслідків затоплення територій у надзвичайних ситуаціях шляхом розробки геоінформаційної технології моделювання, картографування та аналізу супутникових даних з використанням машинного навчання.

Для досягнення поставленої мети дослідження необхідно вирішити наступні задачі:

1. Здійснити комплексний аналіз причин та наслідків затоплення територій, зокрема в контексті природних і антропогенних надзвичайних ситуацій, для виявлення основних факторів, що впливають на інтенсивність і масштаб затоплень.

2. Розробити метод комп'ютерного картографування затоплення при виникненні надзвичайної ситуації на гідроелектростанції.

3. Розробити геоінформаційну технологію прогнозування та картографування небезпеки затоплення при антропогенних надзвичайних ситуаціях, що дозволить своєчасно оцінювати потенційні наслідки для стану територій та об'єктів інфраструктури.

4. Розробити геоінформаційну технологію класифікації земної поверхні за даними оптичних супутникових зображень, використовуючи архітектуру напівкерованого машинного навчання та згорткових нейронних мереж, з подальшим визначенням зон затоплення територій.

5. Провести порівняння результатів технології виявлення та моделювання затоплених зон за допомогою напівкерованого машинного навчання та згорткових нейронних мереж з метою визначення найбільш ефективного підходу для автоматизованого виявлення затоплених територій на основі супутникових зображень.

6. Запропонувати рішення у вигляді програмної реалізації геоінформаційної системи для інтеграції запропонованих моделей та методів прогнозування та оцінки затоплення територій в умовах реального часу.

7. Впровадити розроблені геоінформаційні технології для прогнозування та оцінки наслідків затоплення територій, заснованих на аналізі різночасових супутникових зображень, та надати практичні рекомендації щодо їх використання в управлінні ризиками затоплень у надзвичайних ситуаціях.

*Об'єкт дослідження* – процес моделювання та прогнозування зон затоплення територій за даними супутникової зйомки.

*Предмет дослідження* – методи та засоби геоінформаційної технології розпізнавання, моделювання та прогнозування зон затоплення.

**Методи дослідження.** Теоретичну та методологічну основу роботи складають методи цифрової обробки зображень, геоінформаційні технології, методи машинного навчання, а також гідродинамічні моделі на основі рівнянь Сен-Венана.

Теоретичні та експериментальні дослідження виконувались з використанням ліцензованих програмних продуктів: Microsoft Office 365, QGIS, ESRI ArcGIS, Python in Visual Studio Code.

#### **Наукові положення, що виносяться на захист:**

1. На основі системного аналізу проблем, що виникають під час прогнозування та оцінки затоплення територій у надзвичайних ситуаціях із використанням супутникових знімків, а також дослідження можливостей застосування методів штучного інтелекту, запропоновано метод для виявлення зон затоплення територій, що використовує архітектуру згорткової нейронної мережі з трансферним навчанням. Розроблений алгоритм дозволив автоматизувати процес картографування затоплених територій за супутниковими знімками та використовувати результати його застосування для прогнозування та оцінки рівня затоплення територій при надзвичайних ситуаціях.

2. На основі запропонованих в роботі алгоритмів запропоновано комп'ютерну 3D-модель можливого затоплення територій при надзвичайних ситуаціях, що поєднує методи імітаційного моделювання, геометричного та гідрологічного підходів. Комп'ютерна модель враховує параметри хвилі прориву та геометрії конструктивних елементів під час прориву дамби гідроелектростанції або підвищення рівня води.

#### **Наукова новизна одержаних результатів:**

##### **Вперше:**

– запропоновано метод комп'ютерного моделювання та картографування затоплення територій при надзвичайних ситуаціях, спричиненої руйнуванням дамби на гідроелектростанції, що на відміну від існуючих методів, забезпечує підвищену просторову деталізацію зон затоплення територій на основі цифрових

моделей рельєфу та розрахунку гідродинамічних параметрів проривної хвилі. Ефективність методу підтверджено шляхом його апробації на прикладі Середньодніпровської ГЕС та Дніпровської ГЕС, що дозволило оцінити потенційні наслідки та підвищити точність прогнозування затоплення територій в реальному часі;

- застосовано згорткові нейронні мережі з трансферним навчанням для виявлення зон затоплення територій на оптичних багатоканальних супутникових знімках. Модифікація архітектури нейронної мережі з додаванням конволюційних шарів дозволила підвищити точність класифікації затоплених територій, а також забезпечити автоматизацію аналізу різночасових геопросторових даних для управління природними ризиками;

- розроблено геоінформаційну технологію моделювання та картографування зон затоплення територій, яка дозволяє автоматизувати процес побудови цифрових карт затоплення територій у реальному часі при виникненні надзвичайної ситуації, що забезпечує підвищену просторову деталізацію зон затоплення територій та покращує точність їх прогнозування.

#### **Вдосконалено:**

- підхід до оцінки зон затоплення територій, що поєднує матрицю попарних порівнянь, напівкероване навчання та класи небезпеки. Матриця попарних порівнянь використовується для визначення вагових коефіцієнтів ключових критеріїв, таких як висота над рівнем моря, нахил поверхні, максимальна кількість опадів, акумуляція стоку, характеристики ґрунтів та відстань до затоплених доріг. Експериментальні результати показали середню квадратичну похибку цифрової топографічної карти на рівні 3,21 метра, що відповідає вимогам для практичного застосування, а з коригувальним коефіцієнтом 1,25 середня похибка становить 2,57 метра, що підвищує ефективність моніторингу та планування в умовах затоплень;

- комп'ютерну модель прогнозування зон затоплення територій при виникненні надзвичайної ситуації, яка поєднує методи імітаційного моделювання, геометричного та гідрологічного підходів. Ця модель забезпечує якісну 3D-візуалізацію зон затоплення територій та врахування параметрів хвилі прориву, геометрії конструктивних елементів, а також підвищену точність планування заходів із реагування на надзвичайні ситуації.

#### **Отримав подальший розвиток:**

- математичний метод розрахунку зон затоплення при руйнуванні дамби, заснований на застосуванні систем рівнянь Сен-Венана. Це дозволило здійснити комплексне моделювання затоплених територій з урахуванням геометричних і гідрологічних характеристик русел річок, що підвищило точність прогнозування наслідків затоплень територій.

#### **Практичне значення одержаних результатів.**

Практичне значення результатів підтверджується впровадженнями результатів роботи у практику робіт роботу ТОВ «КОМПАНІЯ ГЕОНІКС» (Київська обл., Бучанський р-н, смт. Клавдієво-Тарасове) та ТОВ ФІРМА «ГЕОРА» (м. Дніпро) при обробці багатоспектральних супутникових зображень

високої просторової, а також впровадженням у освітній процес Національного технічного університету «Дніпровська політехніка».

Практичне значення одержаних результатів визначається суттєвим підвищенням ефективності прогнозування та картографування зон затоплення територій при виникненні надзвичайних ситуацій антропогенного або природного характеру.

Практичне значення одержаних результатів полягає у створенні геоінформаційної системи для моделювання, прогнозування та оцінки затоплення території, яка забезпечує інтеграцію даних супутникових знімків, хмарну обробку, візуалізацію результатів на інтерактивній карті та зручний графічний інтерфейс для проведення аналізу й прийняття рішень при надзвичайних ситуаціях з мінімальними витратами часу та ресурсів. Розроблена система складається з таких компонентів:

– розроблено метод комп'ютерного моделювання та картографування затоплення територій при надзвичайних ситуацій для Середньодніпровської ГЕС та Дніпровської ГЕС, який дозволяє точно прогнозувати можливі наслідки затоплень територій, враховуючи різні сценарії надзвичайних ситуацій та гідродинамічні параметри проривної хвилі;

– розроблено автоматизовану геоінформаційну технологію з використанням архітектури напівкеруваного машинного навчання та згорткових нейронних мереж на основі різночасових супутникових знімків для виявлення та моделювання зон затоплення територій.

#### **Особистий внесок здобувача.**

Наукові результати дисертації одержані особисто Івановим Д.В., який розробив усі теоретичні і прикладні питання, що складають наукову новизну досліджень. Автором визначено напрямки подальших досліджень, сплановано і здійснено виконання теоретичних робіт і комп'ютерних експериментів. Одержані під час проведення роботи теоретичні і практичні результати викладено в основних публікаціях у відкритих наукових виданнях.

Конкретний внесок у публікаціях, виконаних у співавторстві, полягає у розв'язанні поставлених окремих задач дослідження, їх формалізації, розробці комп'ютерної реалізації.

#### **Апробація результатів дисертації.**

Результати дисертаційної роботи доповідались і обговорювались на наукових семінарах кафедри інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії Національного технічного університету «Дніпровська політехніка»; XVI Міжнародній конференції «Проблеми використання інформаційних технологій в освіті, науці та промисловості» (м. Дніпро, 2021 р., 2022 р.); X Міжнародній науково-технічній конференції студентів, аспірантів та молодих вчених (м. Дніпро, 2022 р.); «Наукова весна» 2023: матеріали XIII Міжнародної науково-технічної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених (м. Дніпро, 2023 р.); Міжнародній науково-практичній конференції «Інформаційні технології в металургії та машинобудуванні. ITMM'2023» (м. Дніпро, 2023 р.); XII Міжнародній науково-практичній конференції «ITSec: Безпека інформаційних технологій» (м. Ужгород, 2023 р.); V Міжнародній науково-практичній

конференції «Інформаційні моделюючі технології, системи та комплекси (ІМТСК-2024)» (м. Черкаси, 2024).

**Публікації.** Основні результати дисертаційної роботи опубліковано у 13 наукових працях. П'ять статей опубліковано у наукових виданнях, включених до переліку фахових видань України, 2 статті – індексуються у НМБД Scopus, 6 – тези доповідей та матеріали міжнародних конференцій.

**Структура та обсяг роботи.** Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Загальний обсяг дисертації становить 217 сторінок, містить 183 сторінки основної частини, включає 51 рисуноків, 6 таблиць, 146 літературних джерел.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ ДИСЕРТАЦІЇ

У вступі обґрунтована актуальність дисертаційної роботи, сформульована мета і завдання досліджень. Наведено відомості про наукову новизну і практичне значення одержаних результатів. Вказано кількість публікацій за тематикою дисертаційної роботи. Зазначено особистий внесок здобувача.

У першому розділі проведено аналіз сучасного стану проблеми прогнозування та оцінки наслідків затоплення територій при надзвичайних ситуаціях. Аналіз літературних джерел показав наявність численних проблем, які потребують вирішення. Зокрема, існуючі методи прогнозування та оцінки наслідків затоплень не враховують специфіку швидких змін у гідрологічних процесах, що виникають при надзвичайних ситуаціях, зокрема в умовах змін клімату та урбанізації. У зв'язку з цим виникає потреба в розробці нових методів, що дозволяють оперативно оцінювати масштаби затоплення та ефективно планувати заходи для зменшення їхніх наслідків.

У другому розділі проведено аналіз методів і технологій для оцінки ризику затоплення територій. Розроблено метод комп'ютерного моделювання затоплення територій при виникненні надзвичайної ситуації на гідроелектростанції. Метод базується на використанні імітаційного моделювання, геометричних і гідрологічних підходів, зокрема на розрахунку висоти хвилі прориву та застосуванні алгоритму половинного ділення площі перерізу русла річки. Це забезпечує можливість проведення обчислень для одновимірних та двовимірних систем рівнянь Сен-Венана, що дозволяє виконувати аналіз процесів затоплення як на локальному, так і на макрорівні з урахуванням триангуляційної моделі поверхні. Структурна схема методу комп'ютерного моделювання затоплення території наведена на рис. 1. Реалізація запропонованого підходу включає кілька етапів. Спочатку здійснюється розв'язання одновимірних та двовимірних систем рівнянь Сен-Венана, що описують рух води у руслі річки та на прилеглих територіях. Далі застосовується геометричний підхід, заснований на аналізі триангуляційної моделі поверхні, що дозволяє уточнювати характеристики затоплення з урахуванням топографічних особливостей місцевості. На макрорівні використовується гідрологічний підхід, орієнтований на дослідження територій, площа яких сягає десятків і сотень квадратних кілометрів. Для побудови математичної моделі затоплення території використовуються дані про гідровузол та прилеглу територію, що включає ділянки як вище, так і нижче за течією річки.



Модельний розрахунок передбачає розбиття території нижче за течією на створи – перерізи, розташовані перпендикулярно до напрямку. У кожному створі визначаються ключові параметри, серед яких найважливішими є відстань від гідровузла, висотні відмітки рельєфу та відстань між горизонталями. Для моделювання гідродинамічних процесів на водосховищі враховуються дані щодо його об'єму, ширини та глибини у греблевій зоні та хвостовому б'єфі.

Задля проведення розрахунків та подальшої візуалізації результатів використовуються такі вхідні параметри: HERE Maps API; обсяг водосховища; глибина води перед греблею (глибина прорану); ширина прорану або ділянки переливу води через гребінь греблі; середня швидкість руху хвилі прориву (попуску); відстань від греблі (водойми) до створу та ін.

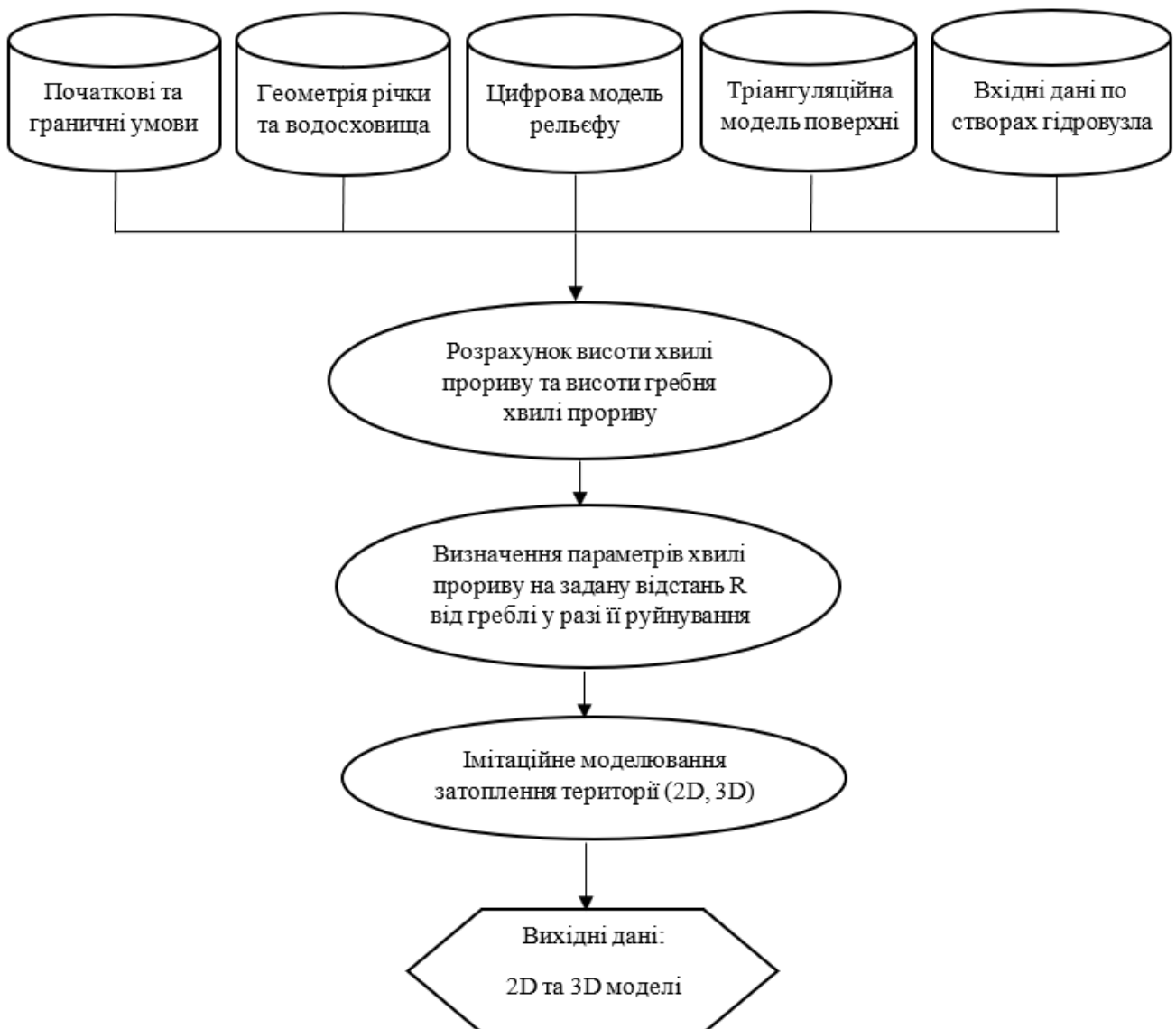


Рисунок 1 – Структурна схема методу комп'ютерного моделювання затоплення територій

Комп'ютерне моделювання процесу затоплення територій передбачає визначення основних гідродинамічних параметрів хвилі прориву, що характеризують її еволюцію у просторі та часі. Зокрема, розраховуються максимальна висота хвилі, її швидкість поширення, прогнозований час

досягнення населених пунктів, гранична глибина та тривалість затоплення. Додатково визначаються хвильовий опір, висота гребеня хвилі, а також час її наближення до об'єкта моделювання. Окрім зазначених параметрів, здійснюється оцінювання часу спорожнення водосховища, витрат води у динаміці, геометричних характеристик руслового перерізу в контрольних створах, включно з каналами трапецієподібного профілю, та змочуваного периметра. Алгоритм розрахунку параметрів зони затоплення представлено у вигляді блок-схеми на рисунку 2.

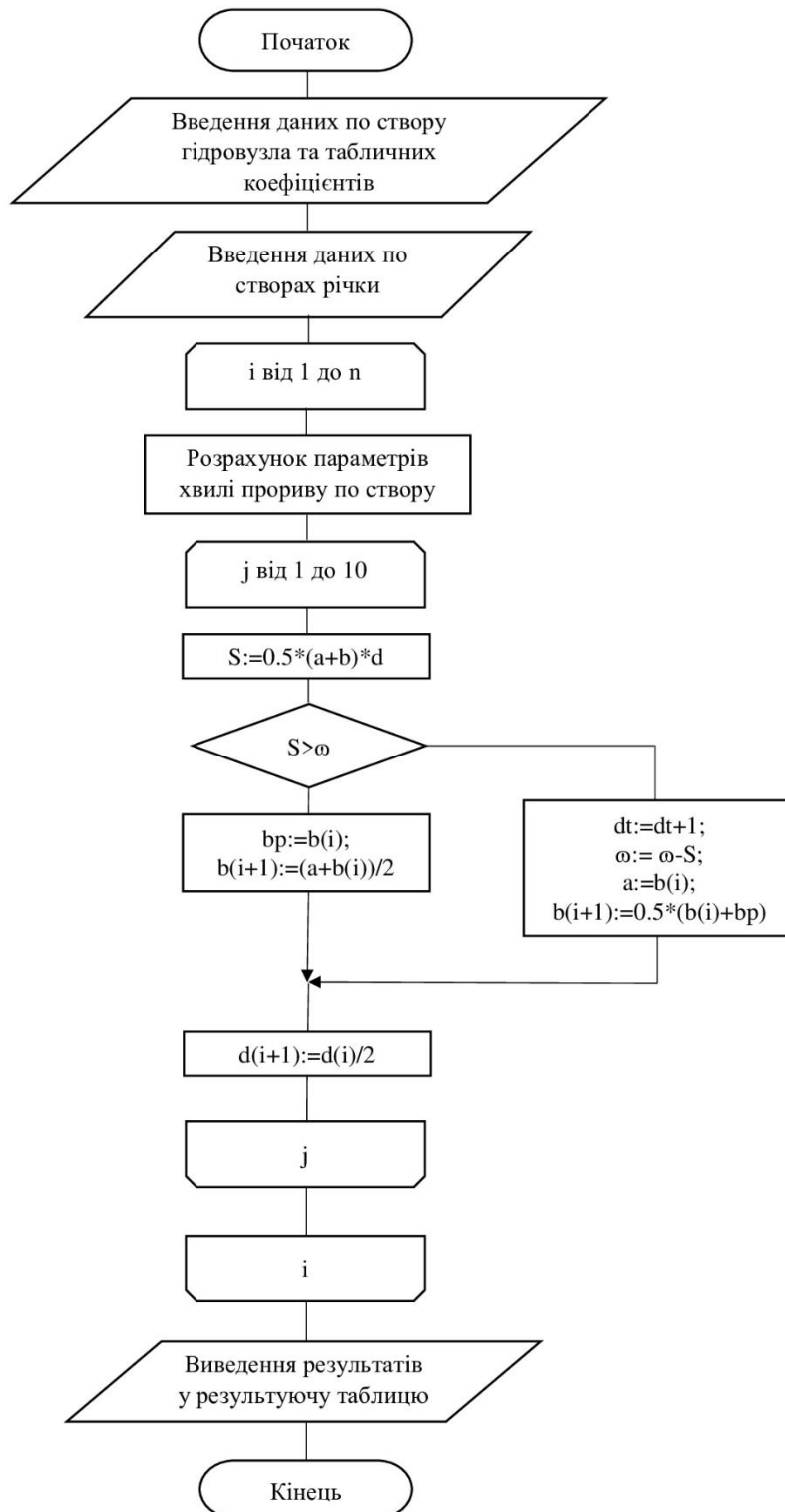


Рисунок 2 – Блок-схема алгоритму розрахунку параметрів зони затоплення

Результати комп'ютерного моделювання показують можливі зони затоплення, що дозволяє оцінити потенційний вплив на прилеглі території. Отримані результати дозволили побудувати 3D-модель затоплення території, на основі якої було проведено моделювання надзвичайної ситуації на Середньодніпровській ГЕС.

У третьому розділі запропонована геоінформаційна технологія прогнозування та картографування небезпеки затоплення територій при антропогенних і природних надзвичайних ситуаціях. Описано методику розрахунку глибини затоплення залежно від відстані від ГЕС із застосуванням алгоритмів розрахунку хвилі прориву та методів оцінки гідродинамічних параметрів водного потоку. Запропоновано метод нейромережевого виявлення затоплених зон, який складається з попередньої обробки даних, векторизації супутникових знімків та інтеграції цифрової моделі рельєфу. Це дозволяє підвищити точність прогнозування зон затоплення. Використання цифрових моделей рельєфу та кліматичних даних сприяє більш точному моделюванню потоків води та зон ризику, що є важливим для завчасного реагування на надзвичайні ситуації. Запропонована геоінформаційна технологія моделювання та картографування зони затоплення представлена на рис. 3. На першому етапі здійснюється підготовка та аналіз даних для створення детальної топографічної карти досліджуваної місцевості, що є основою для подальших розрахунків. Далі виконується завантаження супутникових даних, що забезпечує актуальність та точність моделі. Наступним етапом є розробка цифрової моделі місцевості, яка дозволяє враховувати особливості рельєфу та існуючу гідрографічну мережу. Паралельно формується класифікація водно-болотного та гідротехнічного режиму на основі методів машинного навчання, що сприяє більш точному визначенню потенційних зон затоплення. На основі отриманих даних здійснюється побудова карт тривимірної місцевості, що дозволяє візуалізувати результати моделювання. Далі проводиться гідродинамічне моделювання водосховища, яке дає змогу оцінити основні параметри руху води та її вплив на прилеглі території. Завершальним етапом є 3D-моделювання зони затоплення, що забезпечує комплексне відображення процесів, пов'язаних із поширенням води у разі надзвичайної ситуації. Метод моделювання територій, що ґрунтується на розв'язанні одновимірних і двовимірних систем рівнянь Сен-Венана, які описують рух води у відкритих руслах, є важливим інструментом для прогнозування та аналізу різноманітних гідрологічних сценаріїв:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{A}{B} \cdot \frac{\partial U}{\partial x} + U \cdot \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{U}{B} \left( \frac{\partial A}{\partial x} \right)_{h=const} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial U}{\partial t} + U \frac{\partial U}{\partial x} + g \cdot \frac{\partial h}{\partial x} + g \cdot (S_f - J_f) = 0, \quad (2)$$

де  $A$  – площа поперечного перерізу;  $T$  – час;  $B$  – витрата;  $x$  – горизонтальна координата в напрямку течії;  $g$  – гравітаційне прискорення;  $h$  – глибина води;  $J_f$  – поздовжній ухил дна каналу;  $S_f$  – ухил тертя;  $U$  – середня швидкість води.

Використання рівнянь нерозривності та рівнянь руху дозволяє отримати числові рішення за допомогою методу послідовного наближення. При цьому

важливо враховувати стабільність алгоритму, використовуючи критерій Куранта для уникнення числових нестійкостей:

$$\Delta t \leq \frac{\Delta x}{(|U| + c)}, \quad (3)$$

де  $\Delta x$  – просторовий крок,  $\Delta t$  – крок часу між точками мережі,  $U$  – середня швидкість води,  $c$  – швидкість поширення,  $c$  – швидкість поширення.

Далі визначаємо час, який потрібен хвилі прориву, щоб дійти до об'єкта на певну відстань. Цей час залежить від швидкості руху хвилі та відстані до об'єкта:

$$t = \frac{R}{V}, \text{ год.} \quad (4)$$

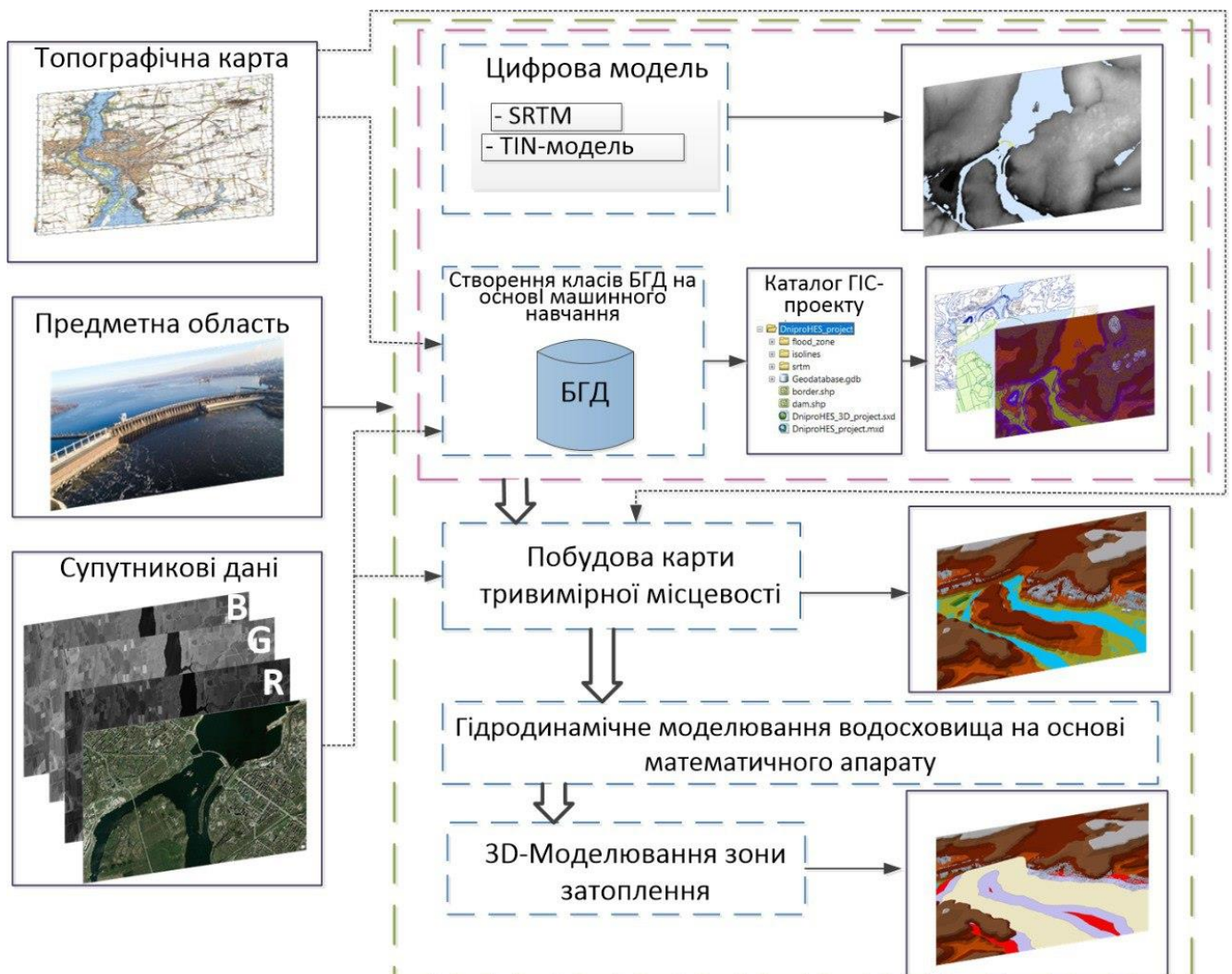


Рисунок 3 – Блок-схема геоінформаційної технології для прогнозування та картографування зони затоплення

Запропонована методологія цифрового картографування потенційних затоплень на основі комплексного використання напівкерованого машинного навчання та геоінформаційної системи QGIS, що дозволяє точно визначати зони затоплення і створювати детальні карти затоплень. Отримання цифрової моделі місцевості та парсинг даних про опади є важливими етапами для оцінки

можливих затоплень територій. Метод «точка в полігоні» виявився ефективним для класифікації зон затоплення на основі супутникових знімків, що сприяє створенню точних карт земного покриття та підвищує ефективність управління природними ризиками. Таким чином, інтеграція машинного навчання в процес картографування затоплених зон відкриває нові можливості для покращення моніторингу та управління ризиками повеней. Розроблена технологія використовує комплексний підхід поєднання неконтрольованого навчання і географічних інформаційних систем (рис. 4).

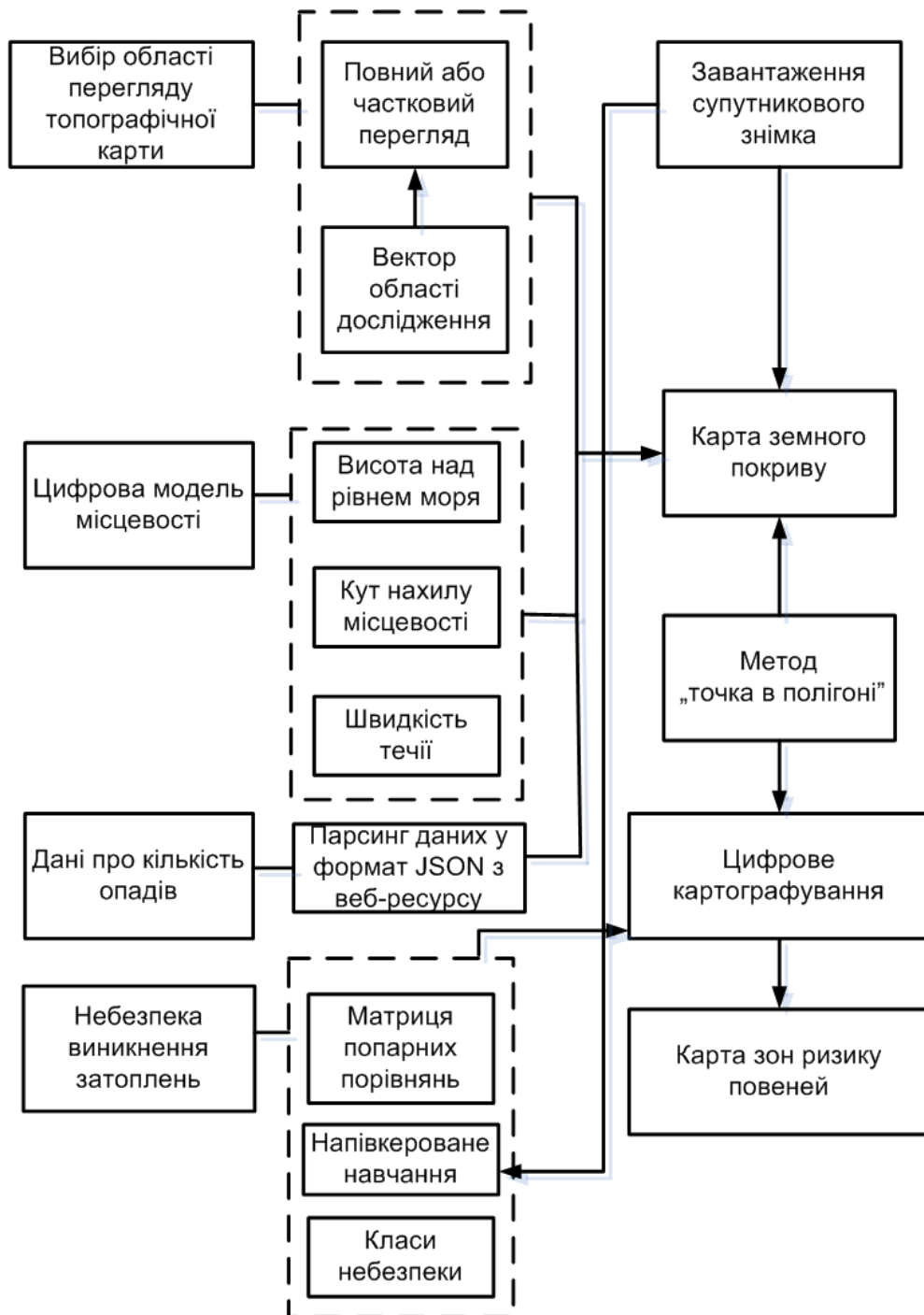


Рисунок 4 – Структурна схема технології виявлення можливих затоплених зон при природних надзвичайних ситуаціях

Першим етапом є вибір області перегляду топографічної карти. Другим етапом є отримання цифрової моделі місцевості. Паралельно необхідно зібрати дані про кількість опадів. Метод «точка в полігоні» застосовується для точного визначення кордонів зон затоплення на основі супутникових знімків (рис. 5). Для визначення небезпеки затоплень застосовується комплексний підхід, що включає матрицю попарних порівнянь, напівкероване навчання та класи небезпеки. Напівкероване навчання, що включає дані з визначеними класами та дані без визначених класів використовується для покращення точності моделей класифікації. На початковому етапі навчання модель використовує обмежену кількість даних з відомими класами для формування базових класифікаційних шаблонів. Велика кількість даних без визначених класів використовується для подальшого коригування, що дозволяє підвищити продуктивність моделі:

$$L = \alpha L_{label} + (1 - \alpha) L_{unlabel}, \quad (5)$$

де  $L_{label}$  – функція втрат для мічених даних,  $L_{unlabel}$  – функція втрат для нерозмічених даних,  $\alpha$  – ваговий коефіцієнт.

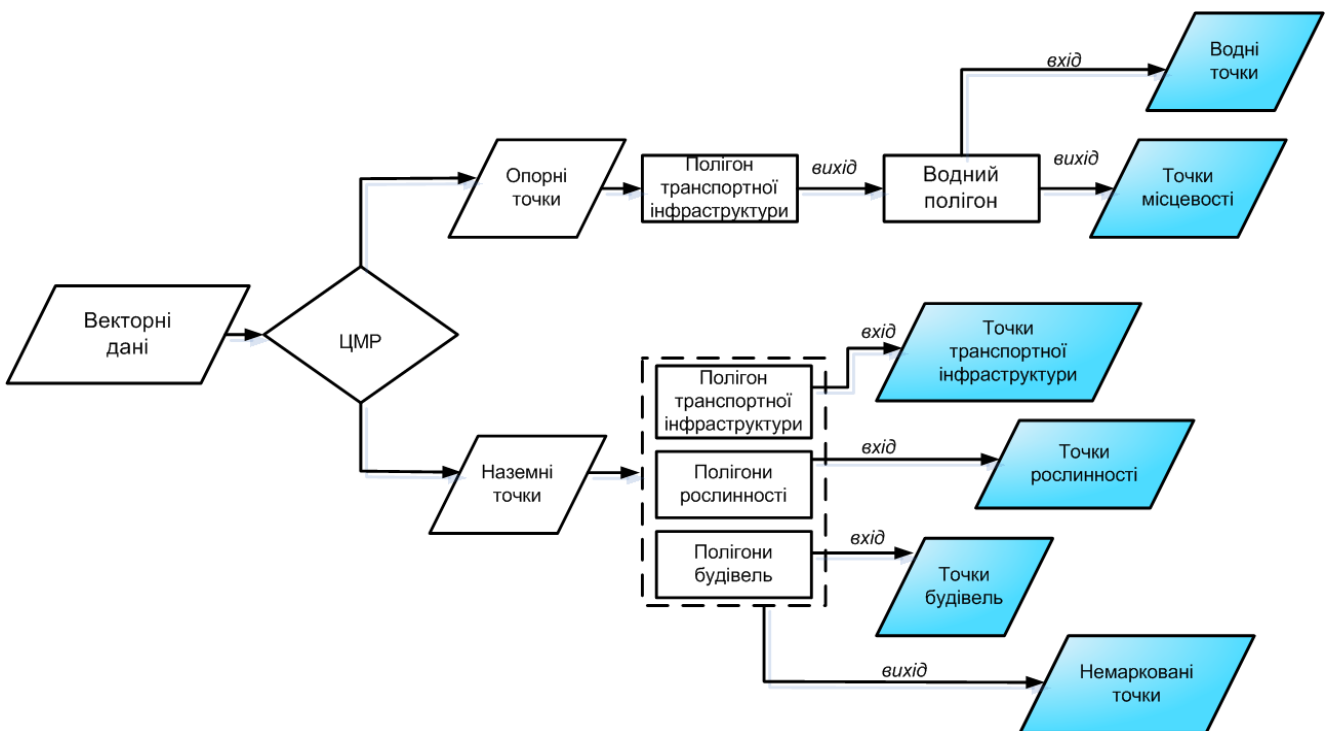


Рисунок 5 – Алгоритм методу «точка в полігоні»

Матриця попарних порівнянь є ключовим інструментом для визначення ваги критеріїв: висота над рівнем моря, ступінь нахилу, максимальна кількість опадів, акумуляція стоку, дані про ґрунти та відстань до затоплених доріг. Відносна важливість цих критеріїв оцінюється за шкалою від 1 до 8 рівні підвищення води при затопленні, де 1 – означає мінімальній рівень затоплення, а 8 – максимальній рівень затоплення. Інтеграція матриці попарних порівнянь у процес напівкерованого навчання здійснюється шляхом використання ваг для

моделювання впливу різних критеріїв на класифікацію. Ваги, отримані з матриці попарних порівнянь, інтегруються в модель напівкерованого навчання, що дозволяє моделі більше уваги приділяти критеріям з високими вагами. Вісім класів небезпеки використовуються для категоризації територій за рівнем ризику затоплень.

Загальна структура запропонованої геоінформаційної технології виявлення можливих затоплених зон територій при природних надзвичайних ситуаціях з використанням згорткової нейронної мережі представлена на рисунку 6 і включає наступні етапи: завантаження супутникових знімків, векторизація первинних даних, інтеграція кліматичних та гідрографічних даних, розробка бази геоданих, створення карти досліджуваної території, застосування методів машинного навчання, моделювання затоплення та отримання карти зон небезпеки затоплення.

Архітектура нейронної мережі для картографування затоплених територій базується на використанні згорткової нейронної мережі (CNN) для класифікації територій за трьома класами: водний простір, затоплені території та суша (рис.7). Основні етапи її роботи включають підготовку навчальних даних, обробку зображень, послідовну обробку за допомогою згорткових шарів, інтеграцію характеристик через повнозв'язний шар та остаточну класифікацію. На першому етапі формується навчальний набір на основі супутникових знімків Sentinel-2 до та після затоплення. Зображення проходять попередню обробку для покращення якості вхідних даних. Після цього знімки подаються на вхід згорткової нейронної мережі. Основна частина архітектури складається зі згорткових блоків, які дозволяють виявити локальні особливості зображень, такі як межі води та затоплених територій. Після кожного згорткового шару використовується шар максимального підсумовування, який зменшує просторову розмірність даних та зберігає ключові особливості. Друга гілка мережі містить повнозв'язний шар, який додатково інтегрує отримані ознаки та сприяє кращому узагальненню характеристик. Навчання моделі здійснюється за допомогою трансферного навчання на попередньо навченій моделі ResNet50. Для оптимізації ваг використовується Adam-оптимізатор та функція втрат бінарної перехресної ентропії. Процес навчання триває 100 епох із поступовою адаптацією вагових коефіцієнтів. Оцінка ефективності моделі проводиться на валідаційному наборі з використанням метрик точності та втрат. На фінальному етапі пікселі зображення класифікуються до приналежності до одного з трьох класів (водний простір, затоплені території та суша). Запропонована архітектура дозволяє ефективно ідентифікувати затоплені території, інтегруючи методи згорткових мереж і трансферного навчання, що покращує точність сегментації та класифікації територій.

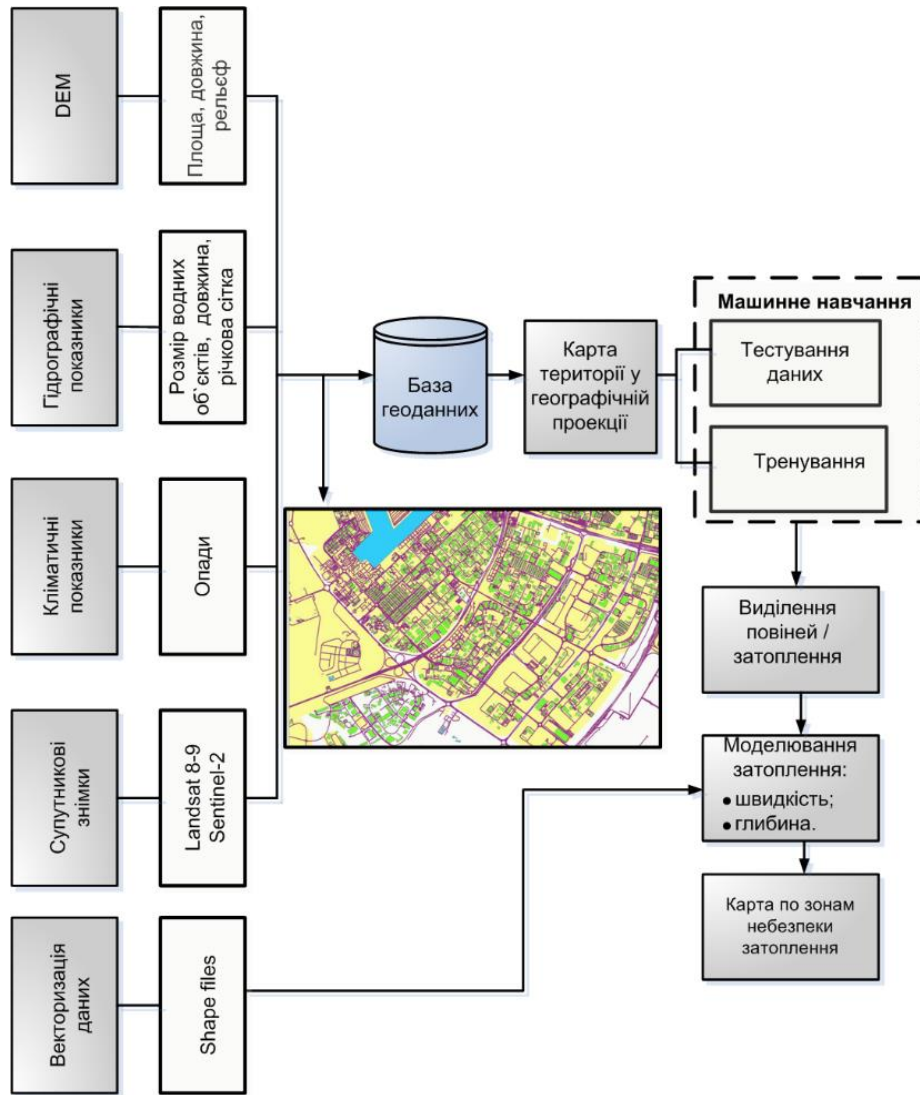


Рисунок 6 – Схема запропонованої геоінформаційної технології

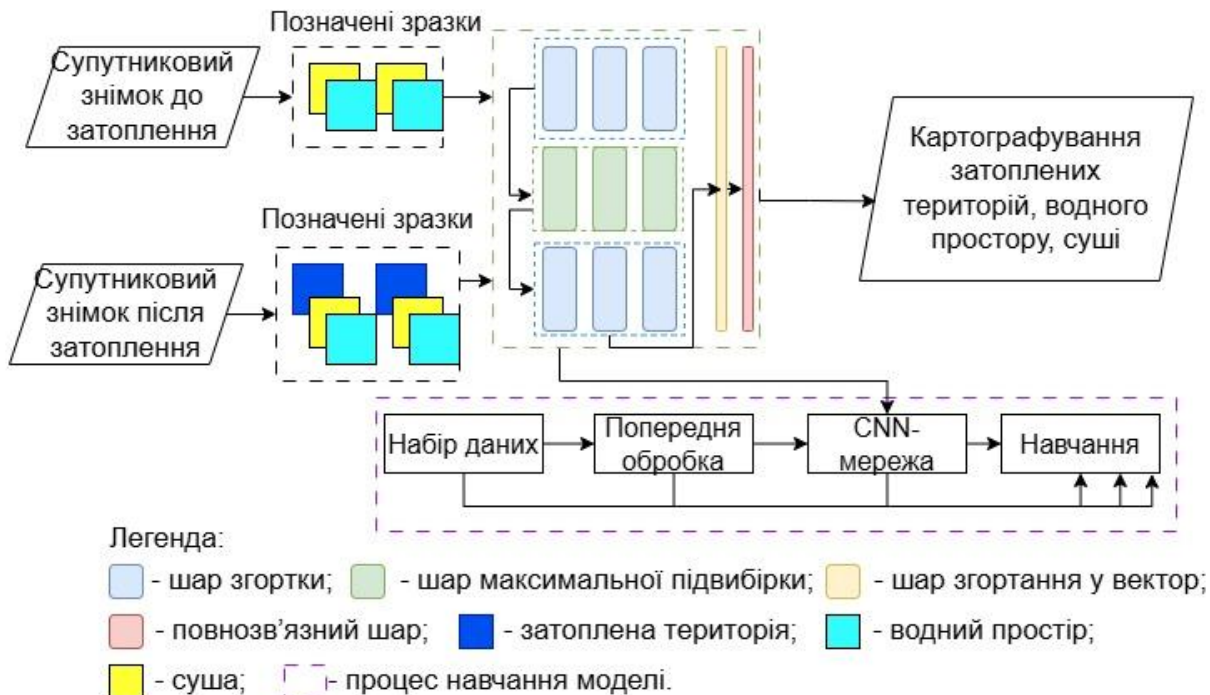


Рисунок 7 – Архітектура нейронної мережі



У розділі розроблено архітектуру геоінформаційної системи для прогнозування та моделювання затоплених територій, яка забезпечує інтеграцію хмарних сервісів, баз даних та інструментів для обробки великих обсягів інформації. Це дозволяє автоматизувати процеси аналізу та візуалізації зон затоплення, забезпечуючи ефективне управління даними та інтерактивний доступ до результатів. Запропонована архітектура включає функціональні компоненти, що працюють у взаємозв'язку, зокрема хмарний сервер для обчислень і зберігання даних, систему керування базами даних для управління доступом та обробки інформації, сховище для зберігання великих масивів геопросторових даних, а також віртуальний робочий стіл для віддаленого доступу до ресурсів. Крім того, система містить ГІС-додатки для аналізу та візуалізації, веб-сервіс для відображення інтерактивної карти результатів та графічний інтерфейс користувача для взаємодії з системою (рис. 8). Всі елементи розробленої архітектури функціонують як єдина інформаційна система, що забезпечує ефективне збирання, зберігання, аналіз та візуалізацію даних для прогнозування затоплень територій. Використання хмарного середовища забезпечує централізоване управління геопросторовою інформацією, що надходить із різних джерел, зокрема супутникових знімків, метеорологічних спостережень та даних про рельєф місцевості. Це сприяє оптимізації роботи системи, роблячи її масштабованою, надійною та доступною для користувачів у будь-якій точці світу. Центральним елементом обробки запитів є сервери в хмарному середовищі, які взаємодіють з іншими компонентами через веб-сервіси та REST API. Це дозволяє швидко зберігати та обробляти великі обсяги даних за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення. Основними складовими архітектури є веб-сервіс для інтерактивної візуалізації картографічних даних, бекенд-система для обробки геопросторової інформації та ГІС-програмне забезпечення для роботи з файлами та базами даних.

**Четвертий розділ** роботи присвячений практичному використанню запропонованих моделей і методів. Здійснено моделювання затоплення території Середньодніпровської ГЕС на основі гідродинамічних розрахунків хвилі прориву. Розроблено програму для розрахунку глибини затоплення залежно від відстані, результати якої візуалізовані через 3D-моделі місцевості. Це дозволило детально окреслити можливі зони затоплення територій та оцінити потенційний вплив аварії на інфраструктуру та прилеглі території. Метод комп'ютерного моделювання затоплення території на Середньодніпровській ГЕС реалізується на основі методів розрахунку висоти хвилі прориву та поділу площі поперечного перерізу річки навпіл. Отримані дані дозволили побудувати 3D-модель та спрогнозувати зону затоплення території на супутниковому знімку (рис. 9).

Було створено комп'ютерну модель затоплення території з використанням мови Python та програмного забезпечення QGIS. На основі побудованої 3D-моделі було проведено моделювання надзвичайної ситуації на Середньодніпровській ГЕС.

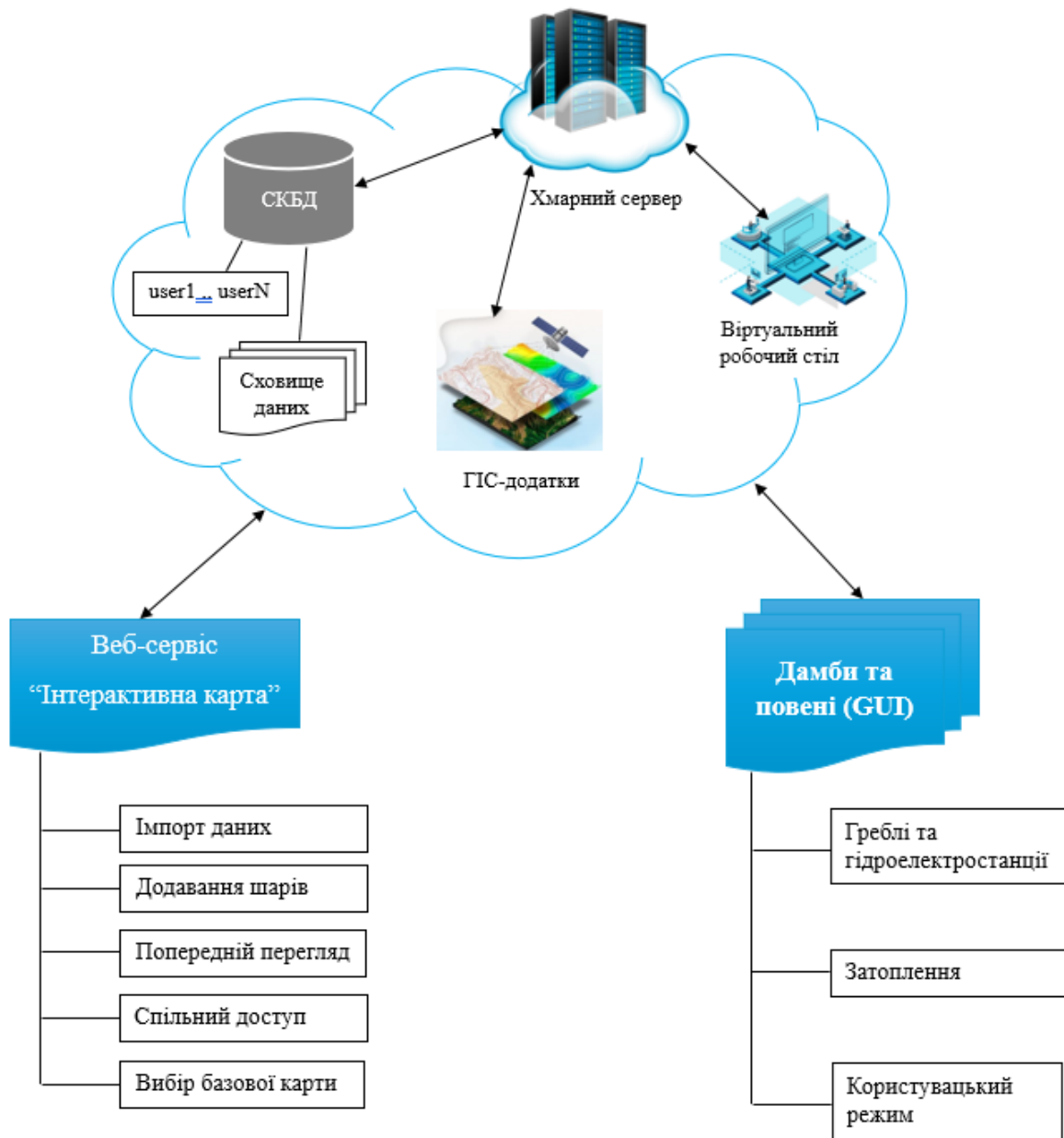


Рисунок 8 – Структурна схема архітектури геоінформаційної системи

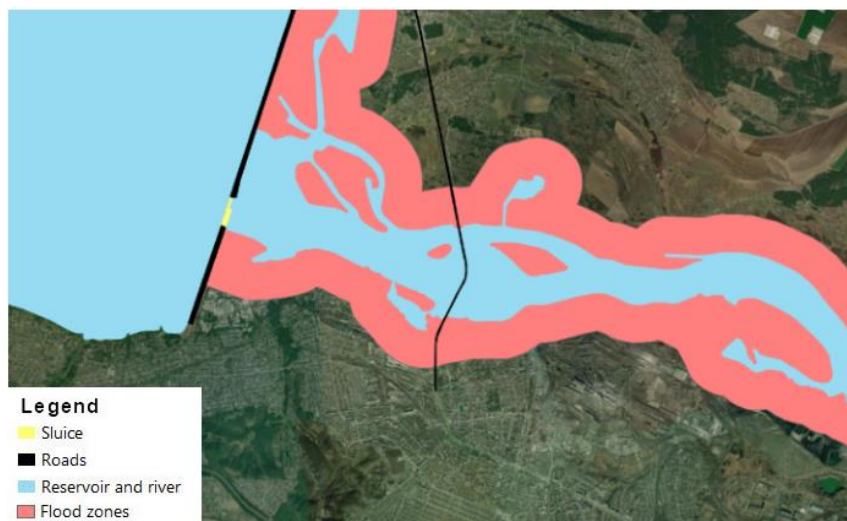


Рисунок 9 – Прогнозування зони затоплення території на супутниковому знімку

У розділі виконано комп'ютерне моделювання та картографування затоплених зон у м. Запоріжжя у разі прориву дамби Дніпровської ГЕС (рис. 10). Використання інструментів QGIS та Python дозволило отримати 2D і 3D карти, що відображають комунікаційні магістралі та сільськогосподарські угіддя, які можуть бути затоплені. Це дає змогу планувати евакуаційні маршрути та оцінювати потенційний вплив на сільське господарство. Розроблено графічний інтерфейс, що дозволяє користувачу завантажити перевірені супутникові дані та ввести ряд параметрів для аналізу, а саме: площу поперечного перерізу, час, витрату, горизонтальну координату в напрямку течії, гравітаційне прискорення, глибину води, поздовжній ухил dna каналу, ухил тертя та середню швидкість води.

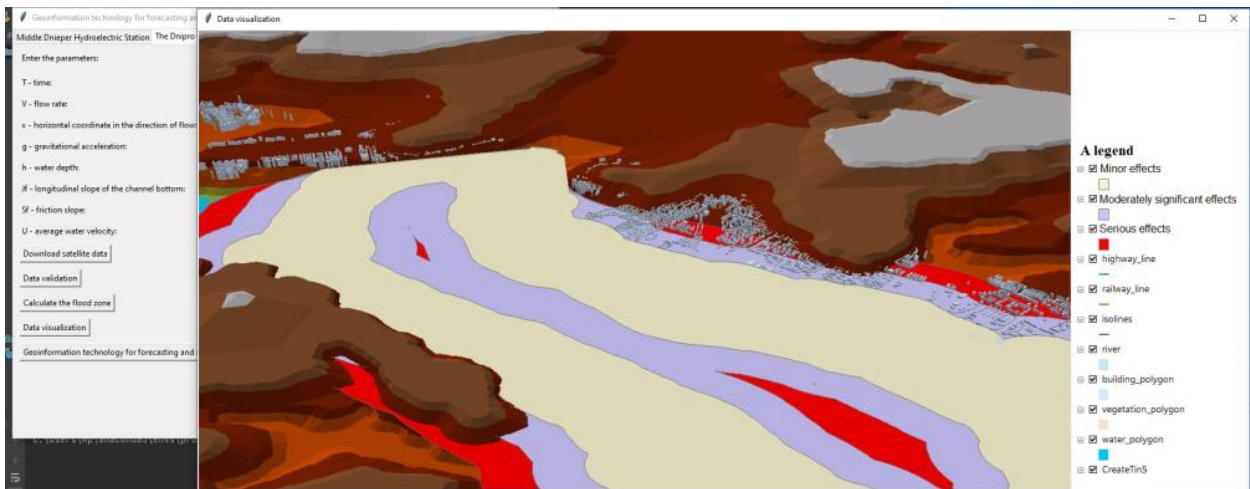


Рисунок 10 – Результат програми

Для подальшого вивчення впливу прориву дамби в місті Запоріжжя на інфраструктуру була побудована карта затоплення доріг (рис.11).



Рисунок 11 – Фрагменти карт затоплення вулиць відповідно до рівнів зон затоплення територій

На рис.12 наведено результат 3D моделювання місцевості.

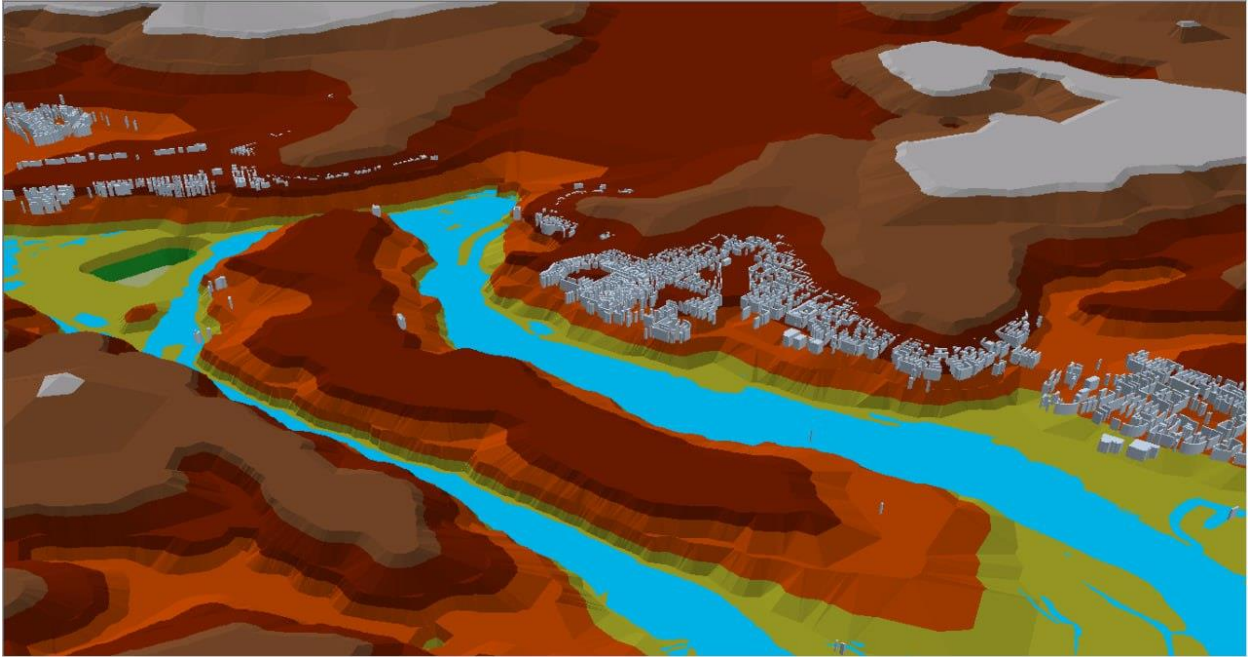


Рисунок 12 – Карта тривимірної місцевості

З метою отримання об'єктивної оцінки рівня ризику та підвищення готовності до потенційних аварійних ситуацій запропоновано розрахувати індекс вразливості до повеней ( $FVI$ ). Результат розрахунків наведено в таблиці 1.

Таблиця 1 – Значення  $FVI$  для Дніпровської ГЕС

Фактор	$N_{pix}(S_{x_i})$	$S_{x_i}$	$N_{pix}(X_j)$	$FR$
Висота	55	60	3,3	0,9167

Наступним етапом в рамках дисертаційної роботи були проведені експериментальні дослідження на основі аналізу супутникових знімків Landsat-8 для міста Дубай (рис. 13) з застосуванням напівкерованого навчання у картографуванні потенційних зон затоплення територій.

До повені, напівкероване навчання успішно класифікувало зображення на дві основні категорії: суша та вода, виділяючи ці області на зображенні. Класифікація базувалася на розбитті зображення на класи, що відповідали найбільш характерним спектральним характеристикам. Зокрема, суша була позначена жовтим кольором, вода – синім, а контури водних об'єктів – червоним. Однак цей метод має суттєве обмеження: він не здатний класифікувати затоплені території як окремий клас, а лише розрізняє водну поверхню та сушу. Після повені метод не зміг коректно ідентифікувати новоутворені водні області, що виникли внаслідок підвищення рівня води. Замість чіткого відображення цих ділянок деякі території залишалися класифікованими як суша, що, спричинено зменшенням контрасту між поверхнею води та навколишніми об'єктами. Крім того, точність класифікації земної поверхні була обмеженою через присутність різноманітних природних об'єктів, зокрема рослинності, забудови та інших текстур. Пікселі, що відповідали цим елементам, могли бути помилково віднесені

до класів суші або води. Особливо це проявлялося у зонах змішаних спектральних характеристик, наприклад, уздовж берегових ліній, де сині та зелені відтінки мали схожість із кольорами води та суші.

Додатково, після повені контури води стали менш чіткими, що зумовлено тим, що метод K-means не враховує складні гідрологічні процеси, такі як розмивання берегових ліній під час затоплення. Як наслідок, нові водні поверхні неповноцінно визначені, а їхні контури – класифіковані з недостатньою точністю.

Для подальшого аналізу впливу повені на регіон було застосовано модель згорткових нейронних мереж. Спочатку для отримання бінарних масок було проведено класифікацію пікселів, де водні об'єкти були позначені як 1, а суша – як 0. Це дозволило створити бінарні маски, які наочно відображають присутність водних об'єктів на супутникових знімках.

Після отримання бінарних масок було створено знімки з чіткою класифікацією територій як суші або води. На цих знімках водні об'єкти були виділені червоним кольором, що дозволяє візуально ідентифікувати контури затоплених територій. На зображеннях після обробки машинного навчання (рис. 14) чітко видно зміну класів у затоплених територій, що підтверджує ефективність застосованої методики класифікації.

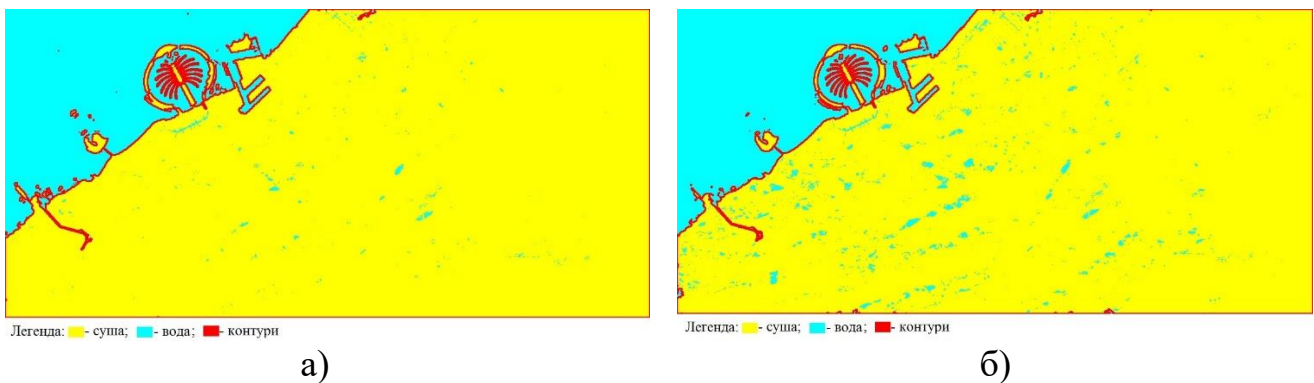


Рисунок 13 – Результати напівкерованого навчання для класифікації супутникового знімку Landsat 8-9: а) до повені 18.03.2024 року; б) після повені 19.04.2024 року

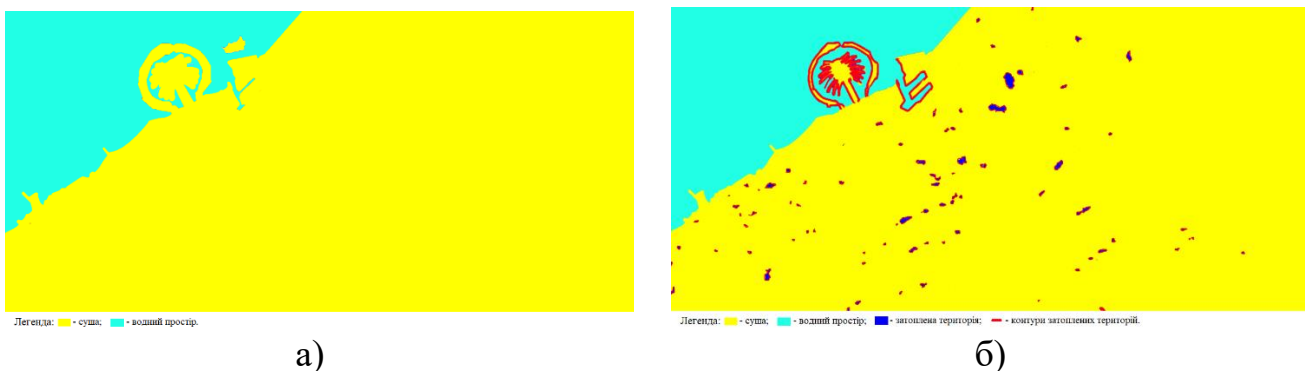


Рисунок 14 – Неймережева класифікація супутникового знімку Landsat 8-9: а) до повені 18.03.2024 року; б) після повені 19.04.2024 року

Отримані результати неймережевої класифікації земного покриття підтверджують ефективність запропонованої в роботі технології виявлення

затоплених територій. Оптимізація моделі за допомогою методу Адама та застосування категоріальної перехресної ентропії в поєднанні з індексом Dice як функції втрат забезпечили стабільне навчання та узагальнюючу здатність моделі. Аналіз метрик точності, повноти та F1-score (табл. 2) свідчить про високий рівень відповідності прогнозованих класів реальним даним. Зокрема, точність класифікації на навчальній вибірці досягла 0,88, а на валідаційній – 0,87, що вказує на збалансоване узагальнення без значного перенавчання.

Таблиця 2 – Результати нейромережевої класифікації на навчальній та валідаційній вибірках

Вибірка	Точність	Повнота	Повнота
Навчальна	0,88	0,85	0,86
Валідаційна	0,87	0,84	0,85

Результати, представлені в таблиці 3, демонструють високу ефективність нейромережевої класифікації для класу (F1 = 0,90), що є важливим для виявлення затоплених територій. Класифікація суші виявилася менш точною (F1 = 0,81), що пов'язано з варіативністю спектральних характеристик цього класу.

Таблиця 3 – Оцінка F1 для кожного класу на основі тестових даних

Клас	Точність	Повнота	F1
FL (вода)	0,91	0,89	0,90
FV (суша)	0,84	0,78	0,81

Таким чином, запропонована технологія на основі згорткових нейронних мереж забезпечує надійне картографування затоплених територій, що підтверджується результатами моделювання для міста Дубай (рис. 15).

У розділі проведено порівняння методів напівкерованого навчання та згорткових нейронних мереж (табл. 4) для класифікації земного покриву на оптичних супутникових зображеннях. Згорткова нейромережа демонструє вищі значення точності, повноти та F1-міри, особливо для класу «вода» (F1 = 0,90), що вказує на її здатність більш точно виділяти границі водних об'єктів. Водночас метод K-means, хоча й ефективний для швидкої класифікації, виявляє обмежену здатність до обробки зображень зі складною структурою, що відображається нижчими значеннями метрик.

Таблиця 4 – Порівняння метрик точності класифікації земного покриву методами напівкерованого навчання та CNN для класів FL та FV

Клас	Метод	Точність	Повнота	F1-міра	Загальна точність	Каппа-коефіцієнт
FL (вода)	K-means	0,83	0,75	0,76	0,82	0,83
	CNN	0,91	0,89	0,90	0,96	0,93
FV (суша)	K-means	0,80	0,75	0,77	0,73	0,77
	CNN	0,84	0,78	0,81	0,91	0,88

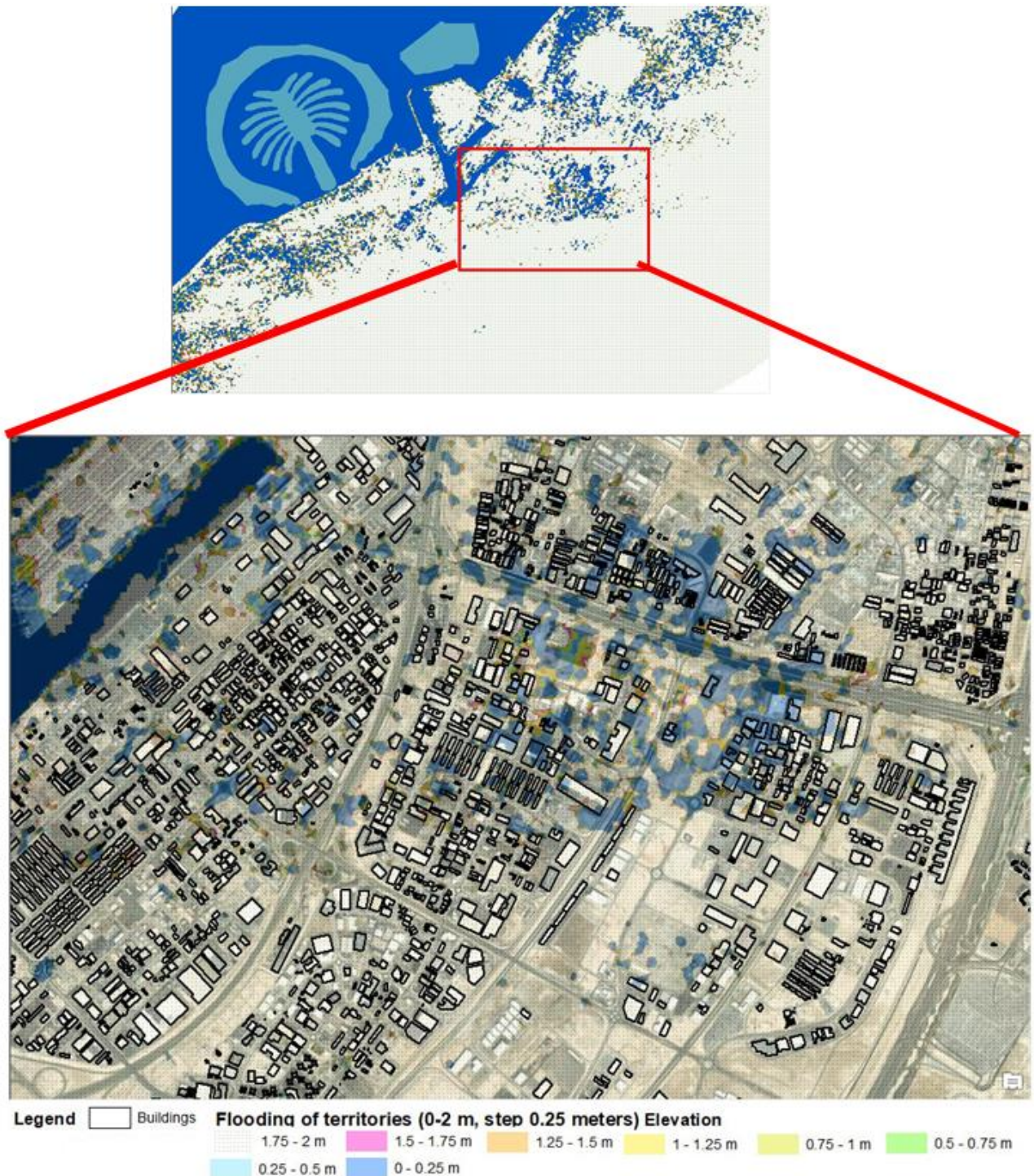


Рисунок 15 – Карта зон затоплення територій міста Дубай

## ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішена важлива науково-прикладна задача підвищення точності прогнозування та оцінки наслідків затоплення територій в умовах надзвичайних ситуацій за допомогою геоінформаційної технології, що включає моделювання, картографування та аналіз на основі супутникових даних і методів машинного навчання.

Отримано наступні основні результати, які мають наукову новизну та практичну цінність:

1. Здійснено комплексний аналіз причин та наслідків затоплення територій, зокрема в контексті природних і антропогенних надзвичайних ситуацій, для виявлення основних факторів, що впливають на інтенсивність і масштаб затоплень територій.

2. Розроблено метод комп'ютерного картографування затоплення територій при виникненні надзвичайної ситуації на гідроелектростанції.

3. Розроблено геоінформаційну технологію прогнозування та картографування небезпеки затоплення територій при антропогенних надзвичайних ситуаціях, що дозволяє своєчасно оцінювати потенційні наслідки таких ситуацій для територій.

4. Розроблено геоінформаційну технологію виявлення та моделювання затоплених територій на основі напівкерованого машинного навчання, що дозволяє підвищити точність визначення затоплених територій під час надзвичайних ситуацій.

5. Розроблено геоінформаційну технологію виявлення та моделювання затоплених територій на основі згорткових нейронних мереж, що забезпечує точність прогнозів і високу якість обробки супутникових зображень для картографування затоплень.

6. На базі запропонованих методів і алгоритмів розроблено автоматизовану геоінформаційну технологію для виявлення та моделювання зон затоплення територій на основі різночасових супутникових зображень, використовуючи архітектуру напівкерованого машинного навчання та згорткових нейронних мереж, що дозволяє визначати та прогнозувати зони затоплення територій.

7. Проведено порівняння результатів технології виявлення та моделювання затоплених зон за допомогою напівкерованого машинного навчання та згорткових нейронних мереж з метою визначення найбільш ефективного підходу для автоматизованого виявлення затоплених територій з використанням супутникових зображень.

8. Запропоновано рішення у вигляді програмної реалізації геоінформаційної системи для інтеграції різних методів картографування і моделювання затоплень територій в умовах реального часу.

9. Запропоновані в дисертації моделі та методи прогнозування та оцінки затоплення територій при надзвичайних ситуаціях і розроблене на їх основі програмне забезпечення впроваджені в ТОВ ФІРМА «ГЕОРА» (м. Дніпро); ТОВ «КОМПАНІЯ ГЕОНІКС» (Київська обл., Бучанський р-н, смт. Клавдієво-Тарасове), а також у навчальний процес Національного технічного університету «Дніпровська політехніка».

## **СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ**

*Статті у міжнародних виданнях та у виданнях, які включено до науково-метричних баз:*

1. Ivanov D.V., Hnatushenko V.V., Kashtan V.Yu., Garkusha I.M. (2022). Computer modeling of territory flooding in the event of an emergency at Serebriyodniprovska Hydroelectric Power Plant. *Naukovi Visnyk Natsionalnoho*



Hirnychoho Universytetu, 2022, № 6. P.158-163. (Збірник включено до міжнародних науково-метричних баз даних: Scopus, Index Copernicus). DOI: <https://doi.org/10.33271/nvngu/2022-6/123>. (*Особисто здобувачем: розроблено метод розрахунку зон затоплення територій при виникненні надзвичайних ситуацій*).

2. Kashtan V.Yu., Ivanov D.V., Hnatushenko V.V. (2024). Geoinformation Technology for Modeling and Mapping Flooding Territory in the Event of the Dnipro Hydroelectric Power Station Dam Failure. In: Babichev, S., Lytvynenko, V. (eds) Lecture Notes in Data Engineering, Computational Intelligence, and Decision-Making, Volume 1. Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies, vol 219, pp 93–115. Springer, Cham. Print ISBN 978-3-031-70958-6, Online ISBN 978-3-031-70959-3. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-031-70959-3\\_5](https://doi.org/10.1007/978-3-031-70959-3_5) (*Особисто здобувачем: розроблена інформаційна технологія для картографування небезпеки затоплення при можливій аварії на Дніпровській гідроелектростанції*).

*Статті у фахових виданнях України:*

3. Каштан В.Ю., Сергєєва К.Л., Коробко О.В., Іванов Д.В. Пошук та оцінка островів тепла на цифрових космічних знімках // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Випуск 3 (146). - Дніпро, 2023. – 146 с. – С.87-98. ISSN 1562-9945 (Print), ISSN 2707-7977 (Online). DOI: <https://doi.org/10.34185/1562-9945-3-146-2023-09>. (*Особисто здобувачем: побудовано карти UHI, LST міста Дніпро з використанням запропонованої методики*).

4. Іванов Д.В., Каштан В.Ю. Геоінформаційна технологія виявлення та моделювання затоплених зон міста Дубай на основі згорткової нейронної мережі // Information Technology: Computer Science, Software Engineering and Cyber Security. – Випуск 4. – Одеса, Видавничий дім «Гельветика», 2024. – 257 с. – С. 99-113. ISSN 2786-507X (Print), ISSN 2786-5088 (Online). DOI: <https://doi.org/10.32782/IT/2024-4-13>. (*Особисто здобувачем: розроблена геоінформаційна технологія для моделювання затоплених зон на основі трансферного навчання*).

5. Іванов Д.В., Каштан В.Ю., Гнатушенко В.В. Методологія цифрового картографування виникнення можливих затоплень територій із застосуванням напівкерowanego машинного навчання // Вісник Хмельницького національного університету. Серія: Технічні науки. – Том 341 № 5, Хмельницький, 2024. – С.12-19. ISSN 2307-5732. DOI: <https://doi.org/10.31891/2307-5732-2024-341-5-1>. (*Особисто здобувачем: розроблена методологія цифрового картографування потенційних зон затоплення на основі методу «точка в полігоні»*).

6. Іванов Д.В., Каштан В.Ю. Архітектура системи підтримки рішень із захищеною обробкою даних при затопленні територій // Вісник Хмельницького національного університету. Серія: Технічні науки. – Том 347 №1, Хмельницький, 2025. – С.123-130. ISSN 2307-5732. DOI: <https://doi.org/10.31891/2307-5732-2024-347-1-16>. (*Особисто здобувачем: розроблена архітектура системи підтримки прийняття рішень із захищеною обробкою даних та інтерактивна карта затоплення територій*).

*Тези і матеріали наукових конференцій:*

7. Іванов Д.В., Гнатушенко В.В. Імітаційне моделювання затоплення територій при виникненні надзвичайної ситуації на гідроелектростанції // Проблеми використання інформаційних технологій в освіті, науці та промисловості: XVI міжн. конф. (15-17 грудня 2021 р.): зб. наук. пр. [Електроний ресурс] / НТУ «Дніпровська політехніка». – Дніпро: 2022. №6. С.123-128. Режим доступу: <http://ir.nmu.org.ua/handle/123456789/160316>. (*Особисто здобувачем: розроблена програмна частини для імітаційного моделювання зон затоплення у разі виникнення надзвичайних ситуацій на ГЕС «ГеП Акосомбо»*).

8. Приходько Є.О., Каштан В.Ю., Іванов Д.В. Автоматизований збір даних для аналізу ризиків руйнувань дамби // Молодь: наука та інновації: матеріали X Міжнародної науково-технічної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених, Дніпро, 23–25 листопада 2022 року / Національний технічний університет «Дніпровська політехніка» – Дніпро: НТУ «ДП», 2022 – 567 с. – С. 366-367. (*Особисто здобувачем: розроблений алгоритм парсингу веб-сайтів*).

9. Сергєєва К.Л., Каштан В.Ю., Коробко О.В., Іванов Д.В., Качан І.С.. Аналіз супутникових даних для оцінки островів тепла урбанізованих територій // Проблеми використання інформаційних технологій в освіті, науці та промисловості: XVII міжнар. конф. (24 листопада 2022 р., м. Дніпро): зб. наук. пр. / ред. кол.: А.А. Азіюковський та ін.; М-во освіти і науки України, Нац. техн. ун-т «Дніпровська політехніка». – Дніпро: НТУ «ДП», 2022. – № 7. – 214 с. – С. 71-76. (*Особисто здобувачем: побудована картограма просторового розподілу зон підвищених температур*).

10. Каштан В.Ю., Іванов Д.В. Комп'ютерна система контролю стану водних об'єктів та прилеглих до них територій в умовах війни // «Наукова весна» 2023: матеріали XIII Міжнародної науково-технічної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених, Дніпро, 1–3 березня 2023 року / Національний технічний університет «Дніпровська політехніка» – Дніпро: НТУ «ДП», 2023. 483 с. – С. 176-177. (*Особисто здобувачем: організована структури бази геоданих та розраховані параметри зони затоплення*).

11. Каштан В.Ю., Іванов Д. В. Інформаційна технологія автоматизованого збору аналітичних даних із веб-ресурсів // Інформаційні моделюючі технології, системи та комплекси (ІМТСК-2024): V міжнародна науково-практична конференція. 18-19 квітня 2024 р., Черкаси, Україна. – Черкаси: Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького, 2024. – 319 с. – С. 97-99. (*Особисто здобувачем: розроблений алгоритм парсингу сайту*).

12. Kashtan V. Yu., Ivanov D.V., Hnatushenko V.V. Geoinformation technology for flood zone modeling and emergency response planning // Інтелектуальні системи прийняття рішень і проблеми обчислювального інтелекту (ISDMSI'2024): матеріали XX Міжнародної наукової інтернет-конференції (20-23 червня 2024 р., м. Хмельницький, м. Усті над Лабем) / за ред. В.І. Литвиненка, С.А. Бабічева. – Херсон: Книжкове видавництво ФОП Вишемирський В.С., 2024. – 49 с. ISBN 978-617-8187-21-7 (електронне видання). – С. 9-10. (*Особисто здобувачем: розроблена топографічна карта досліджуваної території та зони затоплення*).

## АНОТАЦІЯ

Іванов Д.В. Геоінформаційна технологія прогнозування та оцінки затоплення територій при надзвичайних ситуаціях. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.06 – Інформаційні технології. – Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро, 2025.

У дисертаційній роботі розв’язана важлива науково-прикладна задача підвищення ефективності прогнозування та картографування зон затоплення при виникненні надзвичайних ситуацій антропогенного або природного характеру. Проведений аналіз сучасного стану проблеми прогнозування та оцінки наслідків затоплення територій при надзвичайних ситуаціях. Наведено класифікацію надзвичайних ситуацій, визначено їхній вплив на затоплення територій і підкреслено важливість врахування цих факторів при розробці стратегій управління ризиками. Аналіз сучасних методів моделювання та оцінки затоплення територій показав недосконалість використання окремих технологій та алгоритмів, а також обмежену кількість ефективних інструментів для автоматизованого прогнозування та картографування зон затоплення, зокрема в контексті надзвичайних ситуацій. Це підкреслює необхідність розробки комплексного підходу, який забезпечить інтеграцію супутникових знімків, хмарну обробку даних та візуалізацію результатів на інтерактивних картах.

Запропоновано геоінформаційну технологію прогнозування та картографування небезпеки затоплення при антропогенних надзвичайних ситуаціях, яка використовує різночасові супутникові зображення і базується на використанні напівкерованого машинного навчання та згорткових нейронних мереж. Технологія дозволяє точно прогнозувати й картографувати зони можливих затоплень, враховуючи різні сценарії надзвичайних ситуацій, зокрема руйнування дамб або збільшення рівня води.

Запропонована інформаційна технологія реалізована у вигляді геоінформаційної системи для моделювання, прогнозування та оцінки затоплення територій, яка забезпечує інтеграцію даних супутникових знімків, хмарну обробку, візуалізацію результатів на інтерактивних картах і зручний графічний інтерфейс для аналізу й прийняття рішень при надзвичайних ситуаціях з мінімальними витратами часу та ресурсів.

**Ключові слова:** геоінформаційні технології, затоплення територій, прогнозування затоплень, моделювання, супутникові дані, надзвичайні ситуації.

## SUMMARY

Ivanov D.V. Geoinformation technology for forecasting and assessing flooding in emergency situations. – Qualifying scientific work. Manuscript.

Thesis for scientific degree of Candidate of Technical Sciences in specialty 05.13.06 – Information technologies. – Dnipro University of Technology, Dnipro, 2025.

This dissertation proposes a comprehensive solution for developing advanced information technologies for forecasting and mapping flood zones during emergencies

caused by anthropogenic and natural factors. The thesis explores modern techniques and methodologies for predicting and assessing the consequences of flooding, focusing mainly on the limitations of current approaches and software tools in handling these issues, especially in emergencies. While effective under regular facilities, existing technologies often suffer from low accuracy and limited efficiency when applied to the urgent context of natural or human-made disasters. This limitation underscores the need for innovative approaches to address the complexities of real-time flood forecasting and mapping, ensuring that decisions can be made quickly to mitigate the devastating impacts on lives and property.

The research highlights the growing importance of satellite-based data in monitoring flood events and the role of automated systems in improving the speed and reliability of disaster response efforts. The technology developed within this dissertation integrates multi-temporal satellite images with machine learning methods, explicitly leveraging semi-supervised learning techniques and convolutional neural networks. This combination improves accuracy in predicting potential flood zones, overcoming the inaccuracies associated with traditional flood modeling. The proposed system includes several key stages that address the challenges of accurate flood zone identification. These stages begin with the preprocessing of optical satellite images, which involves the removal of cloud cover to ensure that the image data used for analysis is as clear and consistent as possible. The next step is automatically segmenting water bodies, critical for identifying areas susceptible to flooding. Additionally, the system forecasts water level changes based on the analysis of multi-temporal optical satellite images, which enhances the capability to model flood events across time and space.

One of the main advantages of this technology is its ability to generate highly accurate flood zone maps with an error rate as low as 12%. This accuracy is crucial for ensuring that emergency responders and decision-makers have reliable data for managing risks and coordinating efforts during an emergency. The proposed information technology was implemented as a geographic information system (GIS), integrating satellite imagery, cloud-based data processing, and real-time visualization of the results on interactive maps. This GIS platform provides a user-friendly interface that allows operators to quickly input data, perform necessary analyses, and visualize flood zones in an efficient and effective way. The system is designed to assist decision-makers in rapidly assessing flood risks, determining the extent of flood zones, and taking appropriate action to minimize the damage caused by flooding.

Testing the proposed technology in various real-world conditions has demonstrated its effectiveness in assessing flood zones under different emergency scenarios. The results show that the system can provide timely and accurate predictions, even in the complex and dynamic environments that characterize flood events. Whether the emergency is due to natural disasters such as hurricanes, river flooding, or anthropogenic factors such as dam failures or industrial accidents, the technology can adapt to different situations and provide actionable insights for risk management and mitigation.

In addition to improving the precision of flood forecasting, the proposed technology also contributes to a more streamlined and efficient process for decision-making during emergencies. By providing real-time information, the system can help

authorities make more informed choices about resource allocation, evacuation plans, and other critical aspects of emergency management. This capability is essential in climate change, where the frequency and intensity of flooding events are expected to increase, making the need for accurate and timely flood mapping even more pressing.

The information technology developed in this dissertation offers several significant benefits for flood risk management. First, it enhances the accuracy of flood zone forecasting, providing authorities with reliable data that can be used to protect populations and infrastructure. Second, it enables faster decision-making by presenting flood risk information in an easily accessible format. Finally, it reduces the potential negative consequences of flooding by improving the effectiveness of emergency response efforts, ultimately saving lives and minimizing economic losses.

The technology is highly scalable and can be applied to various regions and flood scenarios, making it an invaluable tool for governments, emergency services, and disaster response teams worldwide. With its ability to integrate satellite data, process information in the cloud, and deliver real-time predictions and visualizations, the system represents a significant step forward in flood forecasting and mapping. It provides a vital resource for managing flood risks in an increasingly complex and uncertain world.

In conclusion, the proposed information technology can profoundly impact the accuracy and effectiveness of flood zone forecasting and mapping, enabling better decision-making during emergencies and enhancing the ability to manage flood-related risks. By reducing the time and resources required for accurate flood assessments, this technology holds the potential to mitigate the devastating effects of floods on human populations, infrastructure, and economies worldwide.

**Key words:** geoinformation technologies, flooding, flood forecasting, modeling, satellite data, emergencies.

Підписано до друку 03.03.2025 р.  
Формат 60x84/16. Папір офсетний.  
Друк цифровий. Гарнітура Times New Roman.  
Умовн. друк. арк. 1,2. Наклад 100 прим. Зам. № 98.

**Виконавець ФОП Сова Д.І.**  
Україна, 52071, Дніпропетровська обл., Дніпропетровський р-н, с. Дослідне, 42/102  
Свідоцтво ДК №4129 від 29.07.2011  
eprint000@gmail.com | +380994114091