

УДК 004.67

DOI [https://doi.org/10.24144/2616-7700.2025.47\(2\).267-277](https://doi.org/10.24144/2616-7700.2025.47(2).267-277)**В. В. Ткаченко<sup>1</sup>, О. В. Зарицький<sup>2</sup>, Д. О. Боровик<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Військова академія (м. Одеса),  
старший викладач кафедри загальновійськових дисциплін,  
кандидат технічних наук  
[rhb78@ukr.net](mailto:rhb78@ukr.net)  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2944-8987>

<sup>2</sup> Харківський національний університет міського господарства ім. О. М. Бекетова,  
старший викладач кафедри комп'ютерних наук та інформаційних технологій,  
кандидат технічних наук  
[oleksandr.zarytskohyi@kname.edu.ua](mailto:oleksandr.zarytskohyi@kname.edu.ua)  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0790-8399>

<sup>3</sup> Сумський державний університет,  
аспірант кафедри комп'ютерних наук  
[dmytroborovyk04@gmail.com](mailto:dmytroborovyk04@gmail.com)  
ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-3642-9444>

## МОДЕЛЮВАННЯ ПРИРОДНИХ КАТАСТРОФ НА ОСНОВІ ГІС ТА ВЕЛИКИХ ДАНИХ

У статті запропоновано вдосконалену методологію моделювання повеней на основі інтеграції геоінформаційних систем (ГІС) і технологій великих даних (ВД). Розроблено концептуальну модель, що поєднує LiDAR-дані, метеорологічні та соціальні потоки інформації для створення цифрових моделей рельєфу та карт ризику. Доведено, що інтеграція ГІС і ВД підвищує точність прогнозування, оперативність реагування та ефективність управлінських рішень у сфері цивільного захисту. Результати дослідження можуть бути використані для систем раннього попередження та розроблення стратегій адаптації до кліматичних змін.

**Ключові слова:** великі дані, геоінформаційні системи, моделювання, повінь, управління ризиками, цифрова модель рельєфу, LiDAR.

**1. Вступ.** Природні катастрофи стають дедалі частішими й руйнівними, що в свою чергу спричиняє великі економічні та екологічні збитки. За даними Всесвітньої метеорологічної організації, кількість екстремальних погодних явищ за останнє десятиліття зросла більш ніж утричі [1]. В Україні щорічно підвищуються ризики виникнення повеней, посух і зсувів, що потребує вдосконалення систем прогнозування та управління надзвичайними ситуаціями.

Традиційні методи аналізу природних процесів не враховують просторово-часову динаміку та швидкість надходження великих обсягів даних [2], тому виникає потреба у впровадженні інтелектуальних технологій для аналізу в реальному часі. Геоінформаційні системи (ГІС) у поєднанні з технологіями великих даних (ВД) дозволяють інтегрувати супутникові, сенсорні та метеорологічні потоки, створюючи аналітичні системи раннього попередження та моніторингу катастроф [3].

Водночас залишається невирішеним питання комплексного поєднання ГІС і ВД для моделювання повеней з урахуванням національних географічних і кліматичних особливостей [4–5]. Існуючі підходи часто орієнтовані на окремі регіони або види загроз і не забезпечують уніфікованої архітектури збору, інтеграції та аналітичної обробки просторово-часових даних.

**Наукова новизна дослідження** полягає у доповненні методології моделювання повеней через інтеграцію ГІС і технологій ВД. Удосконалено підхід до обробки та уніфікації LiDAR-даних, сенсорних і супутникових потоків, що підвищує точність цифрових моделей рельєфу. Запропоновано метод побудови карт ризику, який поєднує просторові, гідрологічні та соціально-економічні параметри для прийняття рішень у режимі реального часу.

**Власний внесок авторів** полягає у розробці методичного підходу до формалізації процесів інтеграції різнорідних даних у ГІС-середовищі, удосконаленні структури побудови цифрової моделі рельєфу та реалізації процедури оцінки ризиків на основі функції «глибина — збиток». Результати дослідження доводять ефективність поєднання ГІС і ВД для створення адаптивних систем моніторингу, раннього оповіщення та управління наслідками повеней у режимі реального часу.

**2. Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Протягом останнього десятиліття технології управління природними катастрофами (ПК) розвиваються надзвичайно динамічно. Як свідчать дослідження [5–11, 15], застосування ГІС, дистанційного зондування Землі (ДЗЗ), безпілотних літальних апаратів (БПЛА), штучного інтелекту (ШІ) та ВД істотно підвищує точність прогнозування та скорочує час реагування на надзвичайні події.

У роботах [6, 8] підкреслюється, що запобігання катастрофам потребує комплексного підходу, який поєднує інноваційні технології, міжвідомчу взаємодію та врахування міжнародного досвіду. Інтеграція ГІС і ВД забезпечує не лише просторово-часовий моніторинг, а й побудову адаптивних моделей управління ризиками.

Огляди [7, 9] акцентують на зростанні ролі Web-GIS і хмарних платформ у спостереженні за природними явищами, зокрема повенями, зсувами та землетрусами. Водночас проблема стандартизації геоданих залишається актуальною, що ускладнює обмін інформацією між системами різного рівня.

У низці робіт [10–14] доведено ефективність використання ВД, сенсорних мереж і технологій Інтернету речей (ІР) для створення «розумних» міських систем, стійких до катастроф. Проте більшість таких рішень орієнтовані на локальні території, а не на регіональні чи національні системи управління ризиками.

Попри значну кількість досліджень, питання інтеграції ГІС і ВД у єдине аналітичне середовище залишається відкритим. Недостатньо вивченим є й аспект адаптації ВД-інфраструктури до моделювання повеней в Україні з урахуванням місцевих географічних, кліматичних та соціально-економічних особливостей. У цьому контексті запропонована в роботі концептуальна модель спрямована на підвищення точності прогнозів, оперативності реагування та обґрунтованості управлінських рішень у сфері цивільного захисту.

**3. Постановка задачі.** Метою дослідження є підвищення ефективності прогнозування та управління ризиками повеней шляхом інтеграції ГІС та технологій ВД у єдину аналітичну модель. Згідно з метою дослідження необхідно вирішити наступні завдання: проаналізувати сучасні підходи до застосування ГІС і ВД у моделюванні природних катастроф; обґрунтувати структуру та ключові компоненти ГІС для моделювання повеней; розробити концептуальну модель інтеграції ГІС і ВД із використанням LiDAR, супутникових та сенсорних даних;

провести моделювання процесу затоплення та оцінку ризиків із побудовою карт наслідків повені.

#### 4. Виклад основного матеріалу.

##### *Обґрунтування використання технологій ГІС у моделюванні повені*

ГІС є базовим технологічним інструментом для збору, зберігання, аналізу та відображення просторових даних, що дозволяє не лише створювати моделі ПК, але й прогнозувати їхній вплив на середовище, завчасно виявляти потенційні ризики та усувати потенційні проблеми на ранньому етапі.

Структура та компоненти ГІС (рис. 1) охоплює інтегровану методологію, яка поєднує в собі апаратне та програмне забезпечення, дані, методи та користувачів для перетворення просторової інформації у знання, необхідні для прийняття управлінських рішень у сфері реагування на повінь [13–14].



Рис. 1. Компоненти структури ГІС.  
Джерело: сформовано автором на основі [14].

До основних компонентів структури ГІС входять [12, 14, 15]:

- апаратне забезпечення, в яке входять високопродуктивні комп'ютери, пристрої введення/виведення, що забезпечують швидку обробку великих обсягів геоданих;
- програмне забезпечення з використанням систем ArcGIS, QGIS, MapInfo, GRASS GIS, які підтримують моделювання ризиків, інтеграцію польових даних і візуалізацію зон катастроф;
- просторові (векторні, растрові, ДЗЗ) та атрибутивні дані, що відображають природні та антропогенні об'єкти;
- людський фактор враховує підготовлених фахівців, від яких залежить якість аналізу та прийняття рішень;
- методи передбачають собою алгоритми аналізу, стандартизації та візуалізації, які забезпечують точність моделей ризику.

На основі структури та компонентів ГІС формуються комплексні карти ризиків, моделюються сценарії повені, а також прогнозуються потенційні наслідки для соціально-економічної системи. Візуалізація просторових даних робить можливим швидко прийняття рішень у кризових ситуаціях, оптимізацію шляхів евакуації, розміщення рятувальних служб і ресурсів.

***Характеристики математичного моделювання повені з використанням ГІС.***

Основою просторової візуалізації та моделювання в ГІС є математичний апарат векторних і матричних перетворень, що забезпечує точне геометричне відображення об'єктів і процесів у цифровому середовищі [13, 15]. До ключових операцій просторового аналізу входять обертання, масштабування та переміщення, які використовуються для побудови й трансформації тривимірних моделей природних процесів.

Обертання дозволяє змінювати орієнтацію об'єктів у просторі, що важливо для моделювання динаміки водного потоку та напрямку розповсюдження повені. Наприклад, при моделюванні повені необхідно враховувати зміни координат точок рельєфу після переміщення ґрунтової маси, де використовується матриця повороту об'єкта навколо координатних осей. В якості прикладу розглянемо двовимірний випадок координати точки  $A(x, y)$  після повороту на кут  $\alpha$ , що визначаються рівняннями 1 і 2:

$$x' = x \times \cos(\alpha) - y \times \sin(\alpha), \quad (1)$$

$$y' = x \times \sin(\alpha) + y \times \cos(\alpha). \quad (2)$$

Для тривимірного моделювання застосовуються матричні перетворення, які враховують не лише площинне обертання, а й поворот об'єкта у просторі відносно осей  $O_x$ ,  $O_y$  та  $O_z$ . Такі обчислення дають можливість створювати 3D-сценарії зміни ландшафту або об'єктів інфраструктури внаслідок повені.

Масштабування використовується для зміни розмірів об'єктів і моделювання розширення зон затоплення, що описується формулою 3.

$$s = \begin{pmatrix} s_x & 0 & 0 & 0 \\ 0 & s_y & 0 & 0 \\ 0 & 0 & s_z & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}, \quad (3)$$

де  $s_x, s_y, s_z$  — коефіцієнти масштабування вздовж відповідних осей.

глибина води;  $u, v$  — компоненти швидкості потоку;  $t$  — час;  $x, y$  — просторові координати.

Переміщення дає змогу відтворювати поширення хвиль і динаміку затоплення територій. Формула 4 показує матрицю переміщення.

$$t = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & t_x \\ 0 & 1 & 0 & t_y \\ 0 & 0 & 1 & t_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}. \quad (4)$$

де  $t_x, t_y, t_z$  — відстані переміщення об'єкта вздовж координатних осей.

Інтеграція математичних моделей у середовище ГІС дає змогу створювати реалістичні сценарії повеней. Поєднання ГІС із технологіями ВД забезпечує автоматичне оновлення параметрів (рівня води, швидкості течії тощо), а також формування адаптивних 3D-візуалізацій у режимі реального часу. Такий підхід дозволяє не лише відтворювати катастрофічні процеси, а й прогнозувати їх розвиток, формуючи інтелектуальні системи підтримки управлінських рішень у сфері природних ризиків.

***Інтеграція ГІС з системою управління природними катастрофами на прикладі повені.***

ГІС відіграє ключову роль у системах управління надзвичайними ситуаціями, забезпечуючи інтеграцію геопросторових даних про ризики, вразливість територій та доступність інфраструктури. Її використання охоплює чотири основні напрями [14].

1. Планування та аналіз. ГІС дає змогу моделювати потенційні загрози, визначати вразливі зони та планувати розташування критичної інфраструктури. Просторове моделювання сприяє прогнозуванню наслідків і підготовці заходів реагування.
2. Управління даними. Система об'єднує геологічні, гідрологічні, демографічні та екологічні дані, створюючи інформаційне середовище для швидкого прийняття управлінських рішень.
3. Ситуаційна обізнаність. Використання ГІС забезпечує моніторинг у режимі реального часу — визначення небезпечних зон, оцінку щільності населення, стану інфраструктури та шляхів евакуації.
4. Польові операції. Мобільні додатки (ArcGIS Field Maps, Collector, Survey123) дозволяють оперативно збирати й синхронізувати дані з польових місій, підвищуючи точність і швидкість реагування [14].

***Доцільність використання технологій ВД у моделюванні повені***

Моделювання повеней належить до типових задач класу ВД, оскільки охоплює значні, різноманітні та динамічні обсяги інформації. Таке моделювання потребує обробки великих масивів різноманітних просторово-часових даних, що постійно оновлюються з багатьох джерел у реальному часі. Традиційні методи аналізу та бази даних не забезпечують ефективної роботи з такими потоками через технічні й методологічні обмеження. Розглянемо основні аспекти, які охоплюють ВД у моделюванні повені.

1. *Обсяг і складність.* LiDAR-сканування території 100 км<sup>2</sup> генерує понад 1 млрд точок ( $\approx 100\text{--}300$  ГБ даних), а з урахуванням супутникових знімків, метеоархівів і демографічних баз загальний обсяг може сягати кількох терабайтів. Такі дані ефективно обробляються лише у розподілених системах на кшталт Hadoop або Spark.
2. *Швидкість оновлення даних.* Потоки від сенсорних мереж і супутників надходять щосекунди або щохвилини, тому потрібна потокова обробка у реальному часі (Apache Spark Streaming, Kafka Streams, Flink) [16].
3. *Різнорідність джерел.* Інформація поєднує структуровані (ГІС-шари), напівструктуровані (JSON, XML) та неструктуровані (зображення, тексти, геотеги) дані. Їхня уніфікація здійснюється через NoSQL-сховища (MongoDB, Cassandra, HBase) та ETL-процеси.

4. *Достовірність і варіативність*. Потоки часто містять шум, пропуски або розбіжності у координатах, що потребує очищення й фільтрації за допомогою PySpark або MapReduce.

Для побудови 3D-гідродинамічних моделей (HEC-RAS, Delft3D) необхідна хмарна або кластерна інфраструктура з GPU-прискоренням. Саме тому сучасні системи прогнозування ПК використовують ГІС у поєднанні з ВД-платформами. До таких платформ можна віднести: Google Earth Engine (для аналізу супутникових і кліматичних даних у масштабі планети); ArcGIS Online (для хмарного просторового аналізу, інтеграції даних IP та візуалізації результатів у режимі реального часу); Amazon Web Services ВД Solutions (для розподіленої обробки великих наборів геопросторової інформації за допомогою Hadoop, Spark та S3); Microsoft Azure Synapse Analytics (для інтеграції потокових, аналітичних сервісів та візуалізацій у єдиному середовищі).

#### ***Інтеграція ГІС з ВД при моделюванні повені.***

Інтеграція ГІС та ВД є парадигмою зрушення у моделюванні повені, де ГІС забезпечує просторову структуру та аналітичні інструменти, тоді як ВД надають масивні, різноманітні та динамічні вхідні дані для підвищення точності, оперативності та масштабу моделей. Розглянемо таку інтеграцію на прикладі моделювання моделі повені.

Для інтеграції та обробки потокових даних у моделі застосовано поєднання алгоритмів попередньої фільтрації, нормалізації та виявлення аномалій. Зокрема, для очищення LiDAR-даних використано методи кластеризації (DBSCAN) та видалення шумів за щільністю точок, а для інтеграції сенсорних і супутникових потоків використовувалися алгоритми просторово-часового узгодження даних на основі координат та часових міток. Для виявлення закономірностей у потоках спостережень застосовано машинне навчання (методи регресії та аналізу трендів у PySpark). Використання таких алгоритмів підвищує достовірність даних, забезпечує автоматичне оновлення параметрів моделі в реальному часі та створює основу для адаптивної аналітики у хмарному середовищі.

**Збір даних та інтеграція ВД.** Моделювання повені вимагає інтеграції великої кількості різноманітних даних. На цьому етапі збирається та консолідується інформація з різних джерел, наприклад, високоточні дані рельєфу (LiDAR), метеорологічні дані, дані про інфраструктуру, соціальні дані тощо, як показано в табл. 1.

На рис. 2 представлено інфографіку збору та інтеграції ВД у контексті геопросторового моделювання. Центральне сховище ВД відображає платформу обробки інформації, навколо якої інтегруються основні джерела: геопросторові дані (LiDAR, супутникові знімки) для створення ЦМР; метеорологічні потоки (опаді, температура, вологість) із сенсорних мереж; інфраструктурні дані (будівлі, дороги, критичні об'єкти) для оцінки вразливості; дані ІІІ та аналітики для виявлення закономірностей; соціальні дані (геотеги, повідомлення користувачів), що забезпечують валідацію моделі у реальному часі.

Інфографіка демонструє конвергенцію різноманітних ВД (від статичного LiDAR до динамічних соціальних потоків) в єдину систему, де вони обробляються, аналізуються та інтегруються в ГІС-середовище для моделювання, прогнозування та підтримки прийняття рішень у сфері ПК.

Таблиця 1.

## Збір даних та консолідація з різних джерел

| Джерела ВД                    | Тип даних                                                                                                                                                            | Призначення в побудові моделі                                                                                                                                                      |
|-------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Геопросторові дані            | LiDAR (високоточні моделі рельєфу), супутникові знімки (оптичні, радарні), аерофотозйомка тощо.                                                                      | Створення цифрової моделі рельєфу (ЦМР) та цифрової моделі місцевості (ЦММ) з високою роздільною здатністю для точного визначення шляхів стоку та зон, де накопичуватиметься вода. |
| Метеорологічні дані           | Дані з мережі датчиків рівня води, метеостанцій, прогнози опадів у реальному часі, історичні кліматичні дані.                                                        | Визначення сценаріїв паводку (наприклад, повінь 10-річної, 50-річної чи 100-річної повторюваності) та гідрологічний вхід для моделі.                                               |
| Дані про інфраструктуру       | Кадастрові дані, розташування доріг, мостів, критично важливих об'єктів (лікарні, електростанції), інформація про будівлі (поверховість, функціональне призначення). | Оцінка вразливості та потенційного економічного збитку.                                                                                                                            |
| Соціальні дані (краудсорсинг) | Геотеги та пости із соціальних мереж (Facebook, X) про початок або розвиток затоплення, перекриття доріг.                                                            | Валідація моделі у реальному часі та отримання актуальної інформації про ситуацію на місці, що доповнює офіційні дані.                                                             |
| Дані про населення            | Переписні дані, динаміка мобільного трафіку (конфіденційні дані від операторів зв'язку).                                                                             | Оцінка кількості потенційно постраждалого населення та аналіз шляхів евакуації.                                                                                                    |



Рис. 2. Візуалізація збору даних та інтеграція ВД.

Джерело: сформовано автором.

**Моделювання ризику повені з використанням ГІС та ВД.** На цьому етапі є важливим прогнозування районів, які можуть бути найбільш схильними

до затоплення при різних сценаріях, наприклад, значна кількість опадів, танення снігу, де важливими є оцінка потенційної шкоди та визначення оптимальних маршрутів евакуації з розташуванням пунктів допомоги [11].

З цієї метою на основі даних LiDAR створюється детальна ЦМР та поверхні землі, що є критично важливим для точного моделювання стоку води. На рис. 3 показана детальна ЦМР, отримана за допомогою LiDAR, де показано моделі а) рельєфу на основі інтеграції ГІС з ВД для моделювання повені та б) карти затоплення зон з різною глибиною води.



Рис. 3. Цифрова модель: а) рельєфу на основі ГІС та ВД для моделювання повені; б) карти затоплення зон з різною глибиною води.

Джерело: сформовано автором.

Під час моделювання важливо перетворювати масивні та високоточні ВД за допомогою LiDAR-сканування (мільярди точок) на структуровану, придатну для аналізу модель. Дані LiDAR є класичним прикладом застосування просторових ВД через їхній обсяг (терабайти точок) та швидкість отримання.

ЦМР отримана за допомогою LiDAR має точність до 10–15 см, що дозволяє ГІС-системам ідентифікувати: напрямок стоку (куди саме потече вода), ухили (з якою швидкістю вона рухатиметься), мікро-депресії (невеликі природні або штучні западини, де вода накопичуватиметься, що є невидимим на застарілих картах). Тому деталізація ЦМР є основою для реалістичного гідродинамічного моделювання.

**Гідродинамічне моделювання та аналіз затоплення.** ГІС інтегрується зі спеціалізованими гідродинамічними моделями (наприклад, HEC-RAS). Вона використовує ЦМР та сценарні дані про опади, щоб обчислити, як і куди поширюватиметься вода, створюючи карти глибини та швидкості потоку для різних сценаріїв паводку [12, 14].

На цьому етапі відбувається безпосередній розрахунок параметрів повені. Для побудови моделі використовується двовимірна (2D) гідродинамічна модель (HEC-RAS) для симуляції поширення води, що записується у вигляді формули 5:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial (uh)}{\partial x} + \frac{\partial (vh)}{\partial y} = 0, \quad (5)$$

де  $h$  — глибина води;  $u, v$  — компоненти швидкості потоку;  $t$  — час;  $x, y$  — просторові координати.

ЦМР (LiDAR) використовується як сітка для розрахунків. Модель розраховує карти глибини та швидкості потоку для визначеного сценарного навантаження (наприклад, максимальна втрата річки,  $Q_{max}$ ).

Рис. 3 (б) демонструє результати гідродинамічного моделювання затоплення в ГІС, де інтеграція ВД дає змогу прогнозувати наслідки катастрофи. На рисунку показано основні елементи моделі: карту глибини затоплення (градієнт синього кольору від 0,5 до 5+ м), інфраструктуру (будівлі, дороги, зелені насадження в зоні ризику), лінії потоку (напрямок руху води) та аналітичні елементи, такі як мобільний дашборд і графік, що відображають рівень води та динаміку події в реальному часі для оперативного управління.

**Просторовий аналіз та картографування ризиків.** У ГІС в поєднанні з ВД виконується накладання карт затоплення на шари вразливості для кількісної оцінки ризику, де подібна задача розглядалася авторами в роботі [10]. Вразливість об'єктів (будівель, мостів тощо) моделюється за допомогою функцій глибина-збиток, які прив'язані до шарів інфраструктури в ГІС та встановлюють залежність відсоткового збитку від максимальної глибини води. За формулою 6 визначається загальний збиток:

$$\text{Збиток} = \sum_{i=1}^n (\text{Вартість об'єкта}_i \times F(h_1)), \quad (6)$$

де  $F(h_1)$  — функція глибина-збиток для об'єкта  $i$  при глибині  $h_1$ .

Результатом є карта ризику, де кожен об'єкт або територія класифікується за рівнем потенційного економічного збитку та соціального впливу (кількість постраждалого населення). Створення карта ризику є основним інструментом для прийняття управлінських рішень.

Отже, використання ГІС у поєднанні з технологіями ВД формує сучасну концепцію інтелектуального моделювання ПК, що забезпечує високоточне прогнозування, оцінку ризиків і підтримку управлінських рішень у режимі реального часу. Інтеграція різномірних джерел даних — від супутникових знімків і сенсорів до соціальних медіа — дозволяє формувати комплексну інформаційну модель середовища.

Математичні моделі та просторові перетворення у ГІС є основою для створення тривимірних візуалізацій, які відображають динаміку катастрофічних процесів. Застосування ВД підсилює можливості аналітики, дозволяючи обробляти великі обсяги інформації та забезпечувати адаптивне реагування на основі актуальних даних. Практичні результати моделювання, зокрема у випадку повеней, демонструють ефективність поєднання ГІС і ВД для побудови карт ризиків, оптимізації систем раннього оповіщення та зниження соціально-економічних наслідків катастроф.

**5. Висновки.** Проаналізовано структуру ГІС та її основні компоненти, що забезпечують створення карт ризику, моделювання сценаріїв затоплення й планування реагування.

Обґрунтовано доцільність використання технологій ВД для обробки великих, швидкоплинних і різномірних даних, а також застосування платформ

Hadoop, Spark, Kafka й хмарних сервісів (Google Earth Engine, AWS, Azure) для аналітики в реальному часі.

Запропоновано концептуальну модель інтеграції ГІС і ВД, що об'єднує LiDAR-дані, супутникові спостереження, метеоінформацію та соціальні потоки. Використання алгоритмів очищення й аналізу поточкових даних підвищує достовірність моделювання, а створені карти ризику дають змогу оцінювати збитки й визначати критичні об'єкти.

Розроблений підхід поєднує точність ГІС, масштабованість ВД і паралельну обробку, підвищуючи ефективність систем моніторингу та управління ризиками повеней.

Вектор подальших досліджень спрямовано на розроблення адаптивних алгоритмів машинного навчання для прогнозування динаміки паводкових процесів у режимі реального часу, удосконалення методів автоматизованої обробки LiDAR-даних та розширення можливостей інтеграції ГІС із хмарними аналітичними платформами.

### Список використаної літератури

1. Ustinova, I., & Matsokha, A. (February 2, 2024). Preserving World Heritage Sites in the Context of Climate Change through Landscape Architecture. *Collection of scientific papers «ΔΟΗΘΣ»*, Oxford: UK. 432–442. <https://doi.org/10.36074/logos-02.02.2024.090>
2. Dobrokhodova, O. V., Andrusiak, V. M., & Sushchenko, V. O. (2025). Deformation monitoring of land and natural processes. *Scientific Bulletin of Construction*, 112, 355–361. <https://doi.org/10.33042/2311-7257.2025.112.1.44>
3. Peiris, P. S. H. (2020). Geographical information system (GIS) for disaster management. *Univ. Moratuwa*, 1, 1–10. Retrieved from [https://www.researchgate.net/publication/345179571\\_Geographical\\_Information\\_System\\_GIS\\_for\\_Disaster\\_Management](https://www.researchgate.net/publication/345179571_Geographical_Information_System_GIS_for_Disaster_Management)
4. Mozumder, C., & Karthikeya, N. S. (2023). Geospatial big Earth data and urban data analytics. *Application of Remote Sensing and GIS in Natural Resources and Built Infrastructure Management*, 105, 57–76. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-14096-9\\_4](https://doi.org/10.1007/978-3-031-14096-9_4)
5. Pollard, J. A., Spencer, T., & Jude, S. (2018). Big Data Approaches for coastal flood risk assessment and emergency response. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 9(5), 1–14. <https://doi.org/10.1002/wcc.543>
6. Nozhko, I. O., & Kachan, N. (2025). Prevention of emergencies: strategic approaches, innovative technologies, and practical experience. In *Theory and practice of firefighting and emergency response: Proceedings of the XVI International Scientific and Practical Conference*. Cherkasy. 62–64. Retrieved from <https://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/25790>
7. Daud, M., Ugliotti, F. M., & Osello, A. (2024). Comprehensive analysis of the use of Web-GIS for natural hazard management: A systematic review. *Sustainability*, 16(10), 1–24. <https://doi.org/10.3390/su16104238>
8. Sarker, M. N. I., & et al. (2020). Disaster resilience through big data: Way to environmental sustainability. *International journal of disaster risk reduction*, 51, 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2020.101769>
9. Calka, B., & Szostak, M. (2025). GIS-Based Environmental Monitoring and Analysis. *Applied Sciences*, 15(6), 1–6. <https://doi.org/10.3390/app15063155>
10. Shah, S. A., & et al. (2019). Towards disaster resilient smart cities: Can internet of things and big data analytics be the game changers? *IEEE*, 7, 91885–91903. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2928233>
11. Zarytskyi, O. V., & Kostenko, O. B. (2020). Ranking of spatially distributed systems for monitoring resources in emergency situations. *Problems of emergency situations*, 2(32), 118–132. <https://doi.org/10.5281/zenodo.4400179>
12. Yu, M., Yang, C., & Li, Y. (2018). Big data in natural disaster management: a review. *Geosciences*, 8(5), 1–26. <https://doi.org/10.3390/geosciences8050165>
13. Zhezhnych, P. I., & Osyka, V. O. (2010). Geographic information systems based on spatio-temporal data models. *Bulletin of Lviv Polytechnic National University*. LVIV: Published by

- Lviv Polytechnic National University, 149–158. Retrieved from <https://science.lpnu.ua/uk/sisn/vsi-vypusky/vypusk-689-2010/geoinformaciyi-systemy-na-osnovi-prostorovo-chasovyyh-modeley-danyh>
14. Ayawa, M., & et al. (2024). Geographic Information System (GIS) For Disaster Management. *Int. J. Built Environ. Earth Sci.*, 3, 1–17. Retrieved from [https://www.researchgate.net/publication/380724028\\_GEOGRAPHIC\\_INFORMATION\\_SYSTEM\\_GIS\\_FOR\\_DISASTER\\_MANAGEMENT](https://www.researchgate.net/publication/380724028_GEOGRAPHIC_INFORMATION_SYSTEM_GIS_FOR_DISASTER_MANAGEMENT)
  15. Qin, F., Huang, C., & Lin, Z. (2024). Big data and artificial intelligence-driven natural disaster prediction and prevention: Technological advances and prospects. *Geographical Research Bulletin*, 3, 381–398. [https://doi.org/10.50908/grb.3.0\\_381](https://doi.org/10.50908/grb.3.0_381)
  16. APACHE Spark. Spark Streaming Programming Guide. Retrieved from <https://spark.apache.org/docs/latest/streaming-programming-guide.html>

**Tkachenko V. V., Zarytskiy O. V., Borovyk D. O.** Modeling natural disasters based on GIS and BIG DATA.

The article proposes an improved methodology for flood modeling based on the integration of geographic information systems (GIS) and big data (BD) technologies. A conceptual model has been developed that combines LiDAR data, meteorological and social information flows to create digital terrain models and risk maps. It has been proven that the integration of GIS and BD increases the accuracy of forecasting, the speed of response, and the effectiveness of management decisions in the field of civil protection. The results of the study can be used for early warning systems and the development of strategies for adaptation to climate change.

**Keywords:** big data, geographic information systems, modeling, flood, risk management, digital terrain model, LiDAR.

Одержано 29.09.2025