

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ ГЕОДЕЗІЇ, ЗЕМЛЕУСТРОЮ ТА АГРОІНЖЕНЕРІЇ
КАФЕДРА ГЕОДЕЗІЇ, ЗЕМЛЕУСТРОЮ ТА ЗЕМЕЛЬНОГО КАДАСТРУ

«До захисту допущено»

В.о. завідувача кафедри

к.е.н., доцент

Оксана МАЛАЩУК

« ____ » _____ 2025 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття другого (магістерського) рівня вищої освіти

Освітньої програми «Геодезія та землеустрій»

за спеціальністю 193 «Геодезія та землеустрій»

ВИКОРИСТАННЯ ГІС-ТЕХНОЛОГІЙ ПРИ ОЦІНЮВАНІ РУЙНУВАНЬ

МІСЬКОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ МІСТА ОДЕСИ

Науковий керівник: доцент, к.е.н

Тетяна МОВЧАН

(підпис)

Рецензент:

(підпис)

Виконав здобувач денної форми
навчання

Анастасія ЄФРЕМОВА

(підпис)

*Засвідчую, що кваліфікаційна робота містить
результати власних досліджень. Використання
ідей і текстів інших авторів має посилання
на відповідне джерело.*

Анастасія ЄФРЕМОВА

(підпис)

ОДЕСА - 2025

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет геодезії, землеустрою та агроінженерії
Кафедра геодезії, землеустрою та земельного кадастру
Освітній рівень другий (магістерський)
Спеціальність 193 «Геодезія та землеустрій»

«ЗАТВЕРДЖУЮ»
В.о. завідувача кафедри
Оксана МАЛАЩУК

«___» _____ 2025 р.

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧУ

ЄФРЕМОВІЙ АНАСТАСІЇ СЕРГІЙВНІ

(прізвище, ім'я, по батькові ЗВО)

1. Тема роботи: Використання ГІС-технологій при оцінюванні руйнувань міської інфраструктури міста Одеси

Керівник роботи: Тетяна МОВЧАН, затверджений наказом закладу вищої освіти від «___» _____ 2025 р. № __.

2. Строк подання здобувачем роботи _____

3. Вихідні дані до роботи: нормативно-правові акти, що регулюють земельні відносини в країні, містобудівна документація міста Одеси, геоінформаційні дані (супутникові знімки, дані з дронів та наземних обстежень, дані геоінформаційних систем (ГІС), що використовуються для просторового аналізу та моделювання), методичні матеріали, наукові дослідження, локальні нормативні акти (рішення місцевих органів влади Одеси, які регулюють порядок використання земель та відновлення інфраструктури).

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): Розділ 1. Теоретичні та методологічні засади використання ГІС у моніторингу руйнувань міських територій. Розділ 2. Характеристика території дослідження та джерел геопросторових даних. Розділ 3. Створення геоінформаційної системи руйнувань міста Одеса.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): 1. Загальна оцінка наслідків руйнувань інфраструктури м. Одеса. 2. Адміністративно-територіальний розподіл наслідків руйнувань інфраструктури м. Одеса. 3. Ступінь пошкодження об'єктів інфраструктури м. Одеса. 4. Типологічний розподіл уражених об'єктів інфраструктури м. Одеса.

6. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	При-мітка
1.	Видача завдання на кваліфікаційну роботу. Пошук необхідної літератури для написання розділу «Теоретичні та методологічні засади використання ГІС у моніторингу руйнувань міських територій»		
2.	Написання розділу «Характеристика території дослідження та джерел геопросторових даних»		
3.	Написання розділу «Створення геоінформаційної системи руйнувань міста Одеса»		
4	Оформлення графічного матеріалу		
5.	Чистове оформлення кваліфікаційної роботи		
6	Попередній захист кваліфікаційної роботи		

Здобувач ОР «Магістр»

(підпис)

Анастасія ЄФРЕМОВА

Науковий керівник

(підпис)

Тетяна МОВЧАН

Гарант ОПП

(підпис)

Тетяна МОВЧАН

РЕФЕРАТ

Використання ГІС-технологій при оцінюванні руйнувань міської інфраструктури міста Одеси, Єфремова А.С. Кваліфікаційна робота. ОДАУ кафедра геодезії, землеустрою та земельного кадастру. 2025. 82 с. текстової частини, 31 рисуноків, 3 таблиці, 35 літературних джерел, 4 аркуші графічної частини.

У роботі проаналізовано світовий досвід використання ГІС для моніторингу наслідків конфліктів та проведено комплексну характеристику території м. Одеси, що виявило її високий рівень вразливості. Розроблено та впроваджено методику побудови верифікованої геоінформаційної бази даних, що інтегрує супутникові знімки, відкриті державні реєстри, дані ЗМІ та результати власних польових обстежень 50 пошкоджених об'єктів. У середовищі QGIS створено функціональну геоінформаційну систему, ключовим науково-практичним результатом якої є розроблена трирівнева модель категоризації ступеня пошкоджень об'єктів. Проведений ГІС-аналіз виявив чіткі закономірності: максимальна концентрація руйнувань ($\approx 50\%$ об'єктів) зосереджена в Приморському районі; за функціональним типом найбільше постраждали адміністративні будівлі (38%) та промислові об'єкти (22%); за ступенем пошкодженості переважають часткові руйнування. На основі аналізу сформована стратифікована модель пріоритетів відновлення, що є практичним інструментом для планування. Наукова новизна полягає у розробці методики верифікації та аналізу руйнувань, що поєднує міжнародні стандарти з локальними джерелами даних, а також у створенні авторської трирівневої класифікації ступеня пошкоджень. Результати роботи втілені у готову ГІС, яка може бути передана органам місцевого самоврядування м. Одеси для інституціоналізації як інструменту моніторингу та планування відновлення.

Ключові слова: міська інфраструктура, оцінювання руйнувань, моніторинг пошкоджень, надзвичайні ситуації, просторовий аналіз.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
РОЗДІЛ 1___ТЕОРЕТИЧНІ ТА МЕТОДОЛОГІЧНІ ЗАСАДИ ВИКОРИСТАННЯ ГІС У МОНІТОРИНГУ РУЙНУВАНЬ МІСЬКИХ ТЕРИТОРІЙ	10
1.1. Сутність, завдання та принципи моніторингу руйнувань в умовах надзвичайних ситуацій	10
1.2. Світовий досвід використання ГІС у моніторингу наслідків руйнувань...	13
1.3 Нормативно-правове забезпечення геопросторового моніторингу в Україні.....	21
1.4. Особливості застосування ГІС у дослідженні урбанізованих територій ...	24
РОЗДІЛ 2___ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕРИТОРІЇ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ДЖЕРЕЛ ГЕОПРОСТОРОВИХ ДАНИХ.....	33
2.1. Загальна фізико-географічна та соціально-економічна характеристика міста Одеса.....	33
2.2. Джерела просторових даних для оцінювання зруйнованості	39
2.3 Підготовка та верифікація вихідних даних для ГІС-аналізу	42
РОЗДІЛ 3___СТВОРЕННЯ ГЕОІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ РУЙНУВАНЬ МІСТА ОДЕСА.....	57
3.1 Розроблення структури ГІС-проєкту	57
3.2. Формування просторових даних: точкові, лінійні та полігональні шари ..	61
3.3 Аналіз отриманих результатів та рекомендації для їх використання	67
ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ	76
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	80
ГРАФІЧНІ МАТЕРІАЛИ:	
Додаток А. Загальна оцінка наслідків руйнувань інфраструктури м. Одеса.	
Додаток Б. Адміністративно-територіальний розподіл наслідків руйнувань інфраструктури м. Одеса.	
Додаток В. Ступінь пошкодження об'єктів інфраструктури м. Одеса.	
Додаток Г. Типологічний розподіл уражених об'єктів інфраструктури м. Одеса.	

ВСТУП

Актуальність обраної теми зумовлена низкою критичних факторів, які відображають сучасні виклики, що постають перед Україною, а також стрімкий розвиток технологій у сфері просторового аналізу та управління. Одеса, як один із ключових логістичних, економічних і культурних центрів України, а також стратегічно важливий об'єкт на Півдні країни, зазнає значних руйнувань унаслідок військової агресії. Ці руйнування охоплюють житловий фонд, транспортну інфраструктуру, об'єкти енергетики, водопостачання та комунального господарства.

У таких умовах виникає нагальна потреба у впровадженні сучасних підходів до оцінки завданих збитків, які базуються на використанні геоінформаційних систем (ГІС). Це дозволяє забезпечити оперативність, точність і об'єктивність аналізу, що є необхідним для: ефективного планування відновлювальних робіт; оптимального розподілу ресурсів; забезпечення стійкості функціонування міської інфраструктури. Дослідження, спрямоване на розробку та впровадження ГІС-технологій для оцінки руйнувань міської інфраструктури, є не лише актуальним, але й стратегічно важливим для забезпечення сталого розвитку міста Одеси в умовах сучасних викликів.

Традиційні методи обстеження, що ґрунтуються на візуальному огляді та ручній інвентаризації, є тривалими, високозатратними та не забезпечують оперативного отримання інтегрованої картини руйнувань у масштабах міста. У цьому контексті геоінформаційні системи (ГІС) виступають як потужний та незамінний інструмент. ГІС дозволяють інтегрувати різноманітні джерела просторової інформації, включаючи високоточні дані дистанційного зондування Землі, отримані з супутників та безпілотних літальних апаратів, польові дані та кадастрову інформацію, в єдину цифрову модель. Такий підхід забезпечує не лише візуалізацію місця та ступеня пошкоджень, але й проведення складного просторового аналізу. Зокрема, це включає оцінку доступності пошкоджених

районів, визначення функціональних зв'язків між зруйнованими об'єктами та моделювання впливу руйнувань на суміжні міські системи. Використання ГІС-технологій значно підвищує ефективність процесів оцінки руйнувань, сприяючи прийняттю обґрунтованих рішень щодо відновлення інфраструктури та забезпечення стійкості міського середовища.

Наукова та практична значущість проведеного дослідження полягає у розробці методики, адаптованої до специфіки міста Одеси, для ефективного використання геоінформаційних систем (ГІС) з метою вирішення таких завдань, як швидка ідентифікація та класифікація пошкоджень (застосування ГІС-інструментів дозволяє оперативно визначати місця пошкоджень та класифікувати їх за ступенем руйнувань, що є критично важливим для планування відновлювальних заходів); кількісна оцінка обсягу зруйнованих площ та інфраструктурних елементів (інтеграція даних дистанційного зондування, кадастрової інформації та польових обстежень у ГІС забезпечує точний аналіз масштабів руйнувань, включаючи площі пошкоджених територій та об'єктів інфраструктури); пріоритезація відновлювальних робіт (на основі аналізу критичності пошкоджених об'єктів, ГІС дозволяє визначати пріоритети для відновлення, враховуючи їхній вплив на функціонування міських систем та забезпечення життєдіяльності населення). Розроблена методика сприятиме підвищенню ефективності управління процесами відновлення міської інфраструктури, оптимізації розподілу ресурсів та забезпеченню стійкості міського середовища в умовах сучасних викликів.

Об'єктом дослідження є процес оцінювання фізичних руйнувань об'єктів критичної та соціальної інфраструктури міського середовища м. Одеси, що виникли внаслідок воєнних дій.

Предметом дослідження виступають геоінформаційні методи, технології та інструментарій (включаючи засоби ДЗЗ, просторового аналізу та картографічної візуалізації), спрямовані на оптимізацію, систематизацію та

підвищення якості оцінки зазначених руйнувань для потреб оперативного реагування та відновлення.

Мета дослідження - на основі аналізу об'єкта та предмета розробити науково-практичні рекомендації щодо впровадження або вдосконалення ГІС-підходів в систему моніторингу та оцінки збитків міської інфраструктури Одеси. Відповідно до визначеної мети, у дослідженні було поставлено та вирішено низку взаємопов'язаних науково-практичних завдань:

- провести системний аналіз існуючого міжнародного та вітчизняного досвіду застосування геоінформаційних технологій для документування та оцінки масштабів пошкоджень інфраструктури в умовах збройних конфліктів та надзвичайних ситуацій;

- виконати збір, критичну верифікацію та тематичну систематизацію різномірних геопросторових даних, що характеризують стан зруйнованих та ушкоджених об'єктів міської інфраструктури (житлового фонду, транспортних комунікацій, енергетичних мереж, соціальних об'єктів);

- створити спеціалізовану геоінформаційну базу даних руйнувань на основі інтеграції супутникових знімків високої роздільної здатності, цифрових ортофотопланів, результатів дистанційного зондування Землі та даних з відкритих джерел (OSINT);

- розробити авторську методику просторового аналізу, спрямовану на кількісне та якісне визначення інтенсивності, площинного розповсюдження та географічної диференціації руйнувань міського середовища;

- генерувати комплекс тематичних картографічних моделей та аналітичних шаблонів, що візуалізують ступінь, характер і просторово-часову динаміку руйнувань для підтримки прийняття управлінських рішень.

Методами дослідження в нашому випадку виступають:

- загальнонаукові, системного аналізу, порівняння, узагальнення;
- картографічний метод для візуалізації результатів;

- методи дистанційного зондування землі - дешифрування різночасових супутникових знімків, і методи ГІС аналізу - геоприв'язка, створення векторних шарів, буферний аналіз, накладення, просторові запити.

Наукова новизна - це перша комплексна спроба створення структурованої ГІС руйнувань саме для Одеси.

Практичне значимість полягає в тому, що результати можуть бути використані Одеською міською радою та ДСНС.

РОЗДІЛ 1

ТЕОРЕТИЧНІ ТА МЕТОДОЛОГІЧНІ ЗАСАДИ ВИКОРИСТАННЯ ГІС У МОНІТОРИНГУ РУЙНУВАНЬ МІСЬКИХ ТЕРИТОРІЙ

1.1. Сутність, завдання та принципи моніторингу руйнувань в умовах надзвичайних ситуацій

Моніторинг руйнувань представляє собою систематичний, безперервний процес збору, аналізу, оцінювання та документування інформації про пошкодження об'єктів інфраструктури, будівель, споруд і територій, що зазнали впливу надзвичайних ситуацій (природних, техногенних або воєнних) [15].

Встановлено що сутність моніторингу полягає в спостереженні, контролі і прогнозуванні небезпечних процесів і явищ природи, техносфери, зовнішніх дестабілізаційних факторів (озброєних конфліктів, терористичних актів тощо), які можуть спричинити надзвичайні ситуації, визначення їх масштабів з метою вирішення задач запобігання і ліквідації небезпек [5].

Надзвичайна ситуація воєнного характеру визначається як порушення нормальних умов життя та діяльності людей на окремій території або об'єкті, а також на водному об'єкті, що виникає внаслідок застосування звичайної зброї або зброї масового ураження. У процесі таких ситуацій можуть виникати вторинні чинники ураження населення, які детально описуються в окремих нормативних документах. У класифікаторі надзвичайних ситуацій воєнного характеру не наводиться детальна інформація, а лише зазначається на найвищому рівні деталізації з кодом 40000. Це свідчить про необхідність подальшого розвитку та уточнення класифікаційних ознак для більш ефективного управління наслідками таких ситуацій [15].

Для прогнозування надзвичайних ситуацій найбільшу увагу приділяють потенційно небезпечним об'єктам, процесам і територіям [10]. Потенційно небезпечний об'єкт (ПНО) - об'єкт, на якому використовуються,

виготовляються, переробляються, зберігаються або транспортуються небезпечні радіоактивні, пожежо-, вибухо-, хімічно небезпечні речовини та біологічні препарати, а також гідротехнічні та транспортні споруди, транспортні засоби й інші об'єкти, що створюють реальну загрозу виникнення надзвичайної ситуації [10].

На рисунку 1.1 відображені ознаки, за якими об'єкт можна вважати потенційно небезпечним [10].

-
- 1 наявність на території об'єкта небезпечних для людини та середовища речовин, матеріалів, енергій
 - 2 використання у виробництві небезпечних технологій
 - 3 зношені засоби чи елементи виробничого середовища
 - 4 зберігання, викиди небезпечних виробничих відходів тощо

Рисунок 1.1 - Ознаки притаманні потенційно небезпечним об'єктам

Завдання що ставляться перед моніторингом ПНО зазначені на рисунку 1.2

-
- забезпечення актуалізації інформації, що міститься у Реєстрі
 - збирання, оброблення, передавання та збереження інформації, яка надходить від відповідальних осіб ПНО стосовно стану цих об'єктів
 - інформаційне забезпечення центральних і місцевих органів виконавчої влади та органів місцевого самоврядування, а також відповідальних осіб ПНО для прийняття управлінських рішень щодо запобігання виникненню надзвичайних ситуацій

Рисунок 1.2 - Завдання моніторингу потенційно небезпечних об'єктів

Принципи за якими будується моніторинг ПНО відображені на рисунку 1.3

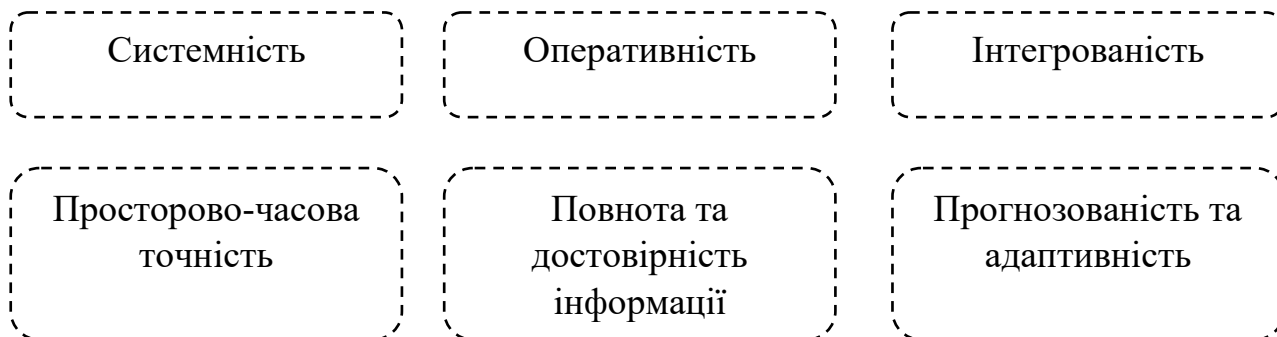


Рисунок 1.3 - Принципи моніторингу потенційно небезпечних об'єктів

Безпосередньо моніторинг здійснюється із застосуванням різних засобів та підходів, деякі з них відображені на рисунку 1.4 .

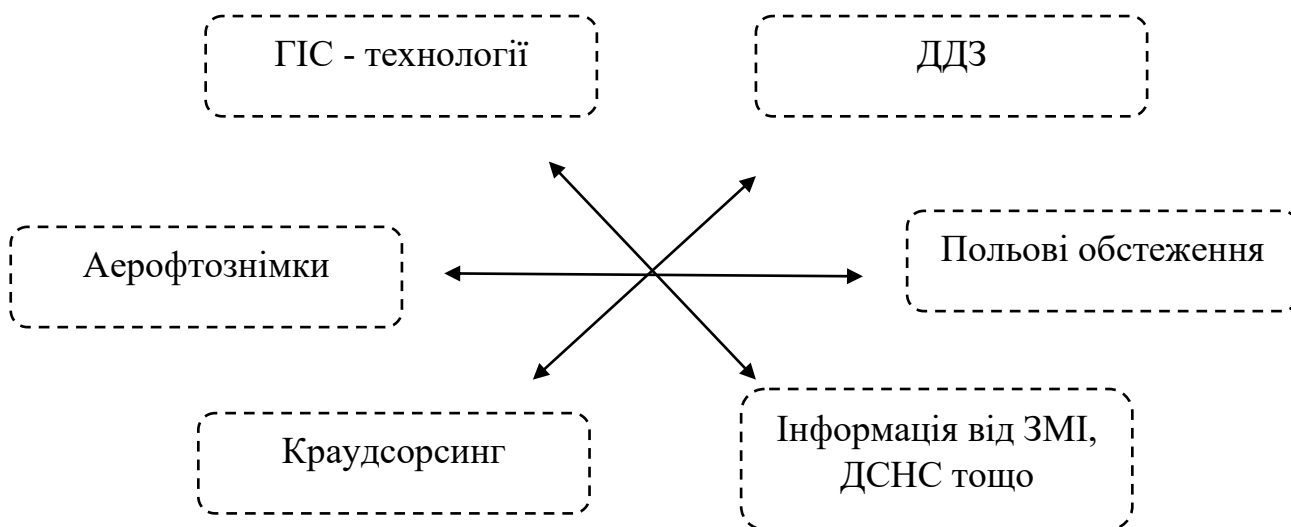


Рисунок 1.4 - Засоби та підходи при здійсненні моніторингу потенційно небезпечних об'єктів

У своїх працях Соколовський В.В. визначає комплекс взаємопов'язаних методів моніторингу потенційно небезпечних об'єктів. Основою є параметричний (сенсорний) моніторинг, який забезпечує безперервний збір ключових технологічних показників за допомогою мережі датчиків. Другим важливим методом на його думку виступає застосування IoT-технологій і спеціалізованих бездротових мереж (LoRaWAN, NB-IoT, Sigfox, ZigBee, 5G),

що забезпечують автоматизовану передачу даних, широке покриття та енергоефективність [34].

Для підвищення швидкодії та відмовостійкості використовується метод хмарної та мікрохмарної (Fog/Edge) обробки даних, що передбачає їх опрацювання як на локальному рівні, так і в центральній інфраструктурі. Важливою складовою є аналітико-прогнозні методи - аналіз часових рядів, регресійне моделювання, зважений метод найменших квадратів та модифікований метод сіток для виявлення дефектів і прогнозування розвитку аварій [34].

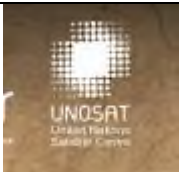
Також науковець Соколовський В.В. застосовує методи забезпечення достовірності інформації, зокрема завадостійке кодування (коди Хеммінга), що гарантує коректність переданих даних. Організація моніторингу базується на ієрархічному методі, який передбачає три рівні контролю: об'єктовий, місцевий та регіональний. Разом ці методи формують комплексну, стійку та прогнозно-орієнтовану систему моніторингу ПНО [34].

Таким чином моніторинг руйнувань в умовах надзвичайних ситуацій є ключовим інструментом для оцінки наслідків надзвичайних подій, своєчасного виявлення зон ризику та планування заходів із їх ліквідації. Він поєднує систематичне спостереження, збір та аналіз даних із застосуванням сучасних інформаційних технологій і методів дистанційного зондування.

1.2. Світовий досвід використання ГІС у моніторингу наслідків руйнувань

Для практичного аналізу міжнародного досвіду у сфері ГІС моніторингу наслідків руйнувань нами зібрано інформацію про деякі зарубіжні проекти та представлено у таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 Зарубіжні проекти ГІС моніторингу наслідків військових дій

	Назва проекту	Країна походження	Логотип проекту	Основний напрям	Територія охоплення	Рік заснування
1	UNOSAT (UNITAR)	ООН / UNITAR		Супутникова оцінка руйнувань	Глобальна	2001
2	Copernicus EMS	ЄС / Єврокомісія		Оперативне картографування НС	Європа та світ	2012
3	NASA Disasters Program	США / NASA		Супутниковий моніторинг катастроф	Глобальна	2006
4	UN-SPIDER	ООН / UNOOSA		Космічні технології для НС	Глобальна	2006
5	Sentinel Asia	Японія / JAXA		Моніторинг ліх в Азії	Азія, Океанія	2005
6	GDACS	ЄС та ООН		Оповіщення про катастрофи	Глобальна	2004
7	EMDAT	Бельгія / CRED		База даних катастроф	Глобальна	1988
8	PAGER (USGS)	США / USGS		Оцінка наслідків землетрусів	Глобальна	2007
9	HRVD / HOT	США / OSM-HOT		Краудсорсинг пошкоджень	Глобальна	2010
10	Maxar Open Data	США / Maxar		Знімки для криз	Глобальна	2017

11	Planet Disaster Response	США / Planet Labs		Високочастотні знімки	Глобальна	2016
12	Pleiades Crisis Mapping	ЄС / Airbus		Надвисока роздільність для криз	Глобальна	2012

Попри різноманітність інституційного підґрунтя та технічних підходів, вони виконують спільне завдання - забезпечення об'єктивного, стандартизованого й доступного супутникового моніторингу для міжнародної спільноти.

Метою UNOSAT (UNITAR) є створення достовірних аналітичних продуктів на основі оптичних і радарних супутникових даних для оцінювання ступеня руйнувань, інфраструктурних змін та гуманітарного впливу подій. UNOSAT функціонує як аналітичний центр ООН та забезпечує повний цикл робіт: збір даних, їхню попередню обробку, аналітичну інтерпретацію, створення картографічних продуктів і підготовку звітності. Структурно діяльність побудована навколо кількох напрямів - оцінка руйнувань, тематичне картографування, аналітика для гуманітарних місій та навчання національних служб. Продукти UNOSAT носять характер високої точності, орієнтовані на верифікацію та стандартизовані методики інтерпретації.

Copernicus Emergency Management Service (EMS) має на меті забезпечення Європейського Союзу та міжнародних партнерів оперативною геоінформаційною підтримкою у випадках природних і техногенних катастроф. Його структура включає два основні модулі: Rapid Mapping для швидкого реагування та Risk and Recovery Mapping для довгострокового оцінювання наслідків. Copernicus EMS використовує супутники Sentinel, а також комерційні знімки надвисокої роздільності, що дає змогу формувати багатошарові карти

пошкоджень, зони затоплення, геодинамічні зміни та інші тематичні продукти. На відміну від UNOSAT, ця система функціонує переважно як оперативна служба ЄС з чітко визначеними часовими нормами та протоколами реагування.

NASA Disasters Program зосереджується на науково-дослідному підході та впровадженні передових алгоритмів для аналізу природних катастроф у глобальному масштабі. Його структура передбачає інтеграцію даних із широкого спектра місій NASA, включно з радарними та оптичними платформами. Метою програми є розроблення моделей впливу катастроф, оцінка змін поверхні землі, формування Damage Proxy Maps та інших інноваційних продуктів. На відміну від двох попередніх ініціатив, NASA орієнтована на розширення наукових методологій, а не виключно на швидке реагування.

UN-SPIDER виступає платформою координації та поширення знань про використання космічних технологій у сфері управління надзвичайними ситуаціями. Мета проєкту полягає не лише в постачанні супутникових продуктів, а й у розбудові потенціалу країн, що розвиваються, через консультації, навчальні програми та створення національних систем доступу до супутникових даних. На відміну від UNOSAT та Copernicus, UN-SPIDER переважно не проводить власні аналітичні обчислення, а орієнтується на забезпечення інформаційного доступу та посередництво між аналітичними центрами.

Sentinel Asia є регіональною ініціативою, створеною під егідою JAXA та Азійсько-Тихоокеанського форуму космічних агентств. Її метою є підтримка країн Азійсько-Тихоокеанського регіону у моніторингу наслідків стихійних лих. Структура роботи охоплює обмін супутниковими даними, активізацію мережі аналітичних центрів, створення тематичних карт та підтримку національних рятувальних служб. На відміну від глобальних платформ, Sentinel Asia має

регіонально спрямований характер та враховує специфіку природних ризиків цього регіону.

GDACS, створений у партнерстві Європейської Комісії та ООН, виконує іншу функцію - це глобальна система раннього сповіщення, яка поєднує моделювання наслідків катастроф, аналітику в режимі реального часу та інтеграцію даних із різних джерел. Її метою є оцінювання потенційного впливу подій невдовзі після їх виникнення та підтримка координації міжнародного реагування.

Комерційні ініціативи такі як Maxar Open Data Program та Planet Disaster Response мають на меті надання високоякісних супутникових знімків надвисокої та високої часової роздільності для потреб оцінювання руйнувань і планування гуманітарних операцій. Їхня структура базується на відкритті доступу до знімків у період катастроф, а також на створенні інструментів для швидкого аналізу. На відміну від державних платформ, ці програми не займаються інтерпретацією, але забезпечують найцінніший ресурс - регулярні знімки великої деталізації.

Спільними рисами всіх розглянутих ініціатив є використання супутникових даних високої та надвисокої роздільної здатності, застосування ГІС-технологій для оцінки ступеня руйнувань, підтримка гуманітарних і рятувальних місій, а також важливість стандартизації методів картографування. Кожен із проєктів орієнтований на оперативність, достовірність даних і забезпечення доступу до аналітичної інформації широкому колу користувачів.

Головні відмінності між проєктами полягають у їхніх інституційних ролях, масштабах охоплення та рівні залучення в аналітичний процес. UNOSAT та NASA зосереджені на глибокому аналітичному опрацюванні даних, Copernicus EMS - на оперативному реагуванні, UN-SPIDER - на координації та навчанні, Sentinel Asia - на регіональній специфіці, GDACS - на моделюванні й попередженні, а комерційні програми Maxar і Planet - на наданні високоякісних

знімків як вихідного матеріалу для аналізу. Таким чином, усі ці ініціативи формують багаторівневу систему глобального моніторингу, яка забезпечує повний спектр - від збору даних до моделювання та стратегічної підтримки процесів реагування і відновлення.

Сучасні підходи до моніторингу наслідків військових дій почали формуватися в умовах конфлікту в Сирії. Цей процес сприяв розвитку методів оцінювання руйнувань міської інфраструктури, аналізу динаміки бойових дій та документування гуманітарних наслідків конфліктів. З початку війни у 2011-2012 роках ключові міжнародні організації активно використовували супутникові технології, дистанційне зондування Землі, краудсорсингові дані та геоінформаційні системи для отримання оперативної та об'єктивної інформації про масштаби руйнувань і стан територій. Одним із провідних центрів моніторингу став UNOSAT, який здійснював систематичне картографування зруйнованих районів у великих містах, таких як Алеппо, Хомс, Ракка та Дамаск.

Завдяки високодетальним оптичним та радарним знімкам фахівці UNOSAT ідентифікували ступінь пошкоджень будівель, аналізували зміни в міському середовищі, фіксували переміщення населення та документували знищення об'єктів культурної спадщини. Звіти UNOSAT стали еталоном для міжнародних оціночних місій і використовуються в гуманітарних та правових процесах.

Вагомий внесок здійснив також сервіс Copernicus EMS, зокрема його компонент Rapid Mapping, який забезпечував швидке створення карт зон ураження на основі даних Sentinel-1, Sentinel-2 та комерційних супутників Pleiades. Такі карти дозволяли оперативно визначати ступінь пошкодження житлових кварталів, інфраструктури та стратегічних об'єктів, класифікуючи їх за рівнем руйнувань. Copernicus EMS надав найбільший масив доступних карт для оцінки ситуації на різних етапах конфлікту, що стало важливим джерелом для гуманітарних організацій та місій ООН.

Дослідження NASA Disasters Program доповнювали загальну картину за рахунок використання середньодетальних супутникових даних MODIS, VIIRS та Landsat, а також радарних зображень для виявлення термічних аномалій, активних пожеж, змін рельєфу та руйнувань з великим охопленням території. Особливе значення мали алгоритмічні продукти NASA, наприклад автоматизоване картування руйнувань Ракки на основі машинного навчання, що дозволило оперативно аналізувати великі площі у високій точності. Важливу роль відіграв і UN-SPIDER, який забезпечував методичну підтримку, координацію та навчання щодо використання супутникових даних у гуманітарних операціях, а також поширював рекомендації щодо оцінювання руйнувань у середовищі активних бойових дій.

Суттєвий внесок у збирання, систематизацію та верифікацію даних забезпечили краудсорсингові проєкти, зокрема Humanitarian OpenStreetMap Team (HOT), який формував відкриті карти населених пунктів Сирії на основі супутникових зображень та даних від волонтерів у різних країнах світу. Дані HOT широко використовувалися для планування гуманітарних коридорів, визначення доступності територій та маршрутизації допомоги. Комерційні супутникові оператори, такі як Махаг та Planet, також надали значні масиви зображень у рамках програм відкритих даних для кризових ситуацій, що дозволило гуманітарним організаціям отримувати високодетальні знімки практично в реальному часі. У сукупності цей досвід продемонстрував, що комплексне поєднання даних високої роздільної здатності, хмарних аналітичних платформ, інструментів машинного навчання та глобальних гуманітарних ініціатив дозволяє створювати точну, оперативну та масштабовану систему моніторингу наслідків війни.

З огляду зарубіжного досвіду ми виділили успішні методології, придатні для адаптації в умовах України і сформували практичну схему з робочим алгоритмом (рис. 1.5).



Рисунок 1.5 - Робочий алгоритм моніторингу наслідків руйнувань

Збір даних для зарубіжних проектів в більшості випадків проводиться за допомогою методів дистанційного зондування Землі. Так наприклад в роботі Сюй Х. [3] представлено методологію та практичні результати використання загальнодоступних супутникових даних для систематичного моніторингу пошкоджень інфраструктури й змін навколишнього середовища в умовах активного збройного конфлікту; автори ставили за мету показати, що комбінація оптичних і радарних відкритих наборів даних дозволяє виявляти й кількісно оцінювати руйнування, а також відстежувати екологічні наслідки бойових дій, навіть коли доступ наземної інформації обмежений або небезпечний, і для цього вони зібрали й оприлюднили відповідні часові ряди й результати аналізу.

Робота Мюллера Х., Грогера А., Герша Дж. [1] розкриває суть автоматизованого підходу до виявлення руйнувань будівель у зонах воєнних конфліктів на основі супутникових знімків із використанням методів глибокого навчання. За мету узято створення моделі, здатної точно і масштабовано

ідентифікувати пошкодження на великих територіях, подолати проблему рідкості навчальних прикладів класу руйнування, а також використати просторово-часовий контекст для підвищення стабільності та надійності прогнозів. Важливим науковим внеском є впровадження аугментації міток методики, за якої мітки пошкоджень поширюються на прилеглі ділянки відповідно до реалістичних закономірностей поширення руйнувань у міському середовищі.

1.3 Нормативно-правове забезпечення геопросторового моніторингу в Україні

Починаючи з 2002 р. в Україні працює Державний реєстр потенційно небезпечних об'єктів і територій. В ньому зібрано структуровані дані про такі об'єкти за визначеними формами паспортів: хімічно небезпечні; вибухопожежонебезпечні; об'єкти з радіаційною безпекою; гідродинамічно небезпечні; біологічно небезпечні; енергетично небезпечні; об'єкти гірничо-видобувної промисловості [21].

Нормативно-правовою основою проведення моніторингу ПНО є:

- Положення про Державний департамент страхового фонду документації, затверджене постановою Кабінету Міністрів України від 27 червня 2000 року № 1023 [13];
- Порядок класифікації надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру за їх рівнями, затверджений постановою Кабінету Міністрів України від 24 березня 2004 року № 368 [21];
- Державний класифікатор надзвичайних ситуацій ДК 019-2001 [10].

Державна служба України з надзвичайних ситуацій виступає національним інформаційним центром у сфері моніторингу, прогнозування, попередження та реагування на надзвичайні ситуації, забезпечуючи координацію дій органів влади, сил цивільного захисту та суб'єктів

господарювання. Як центральний орган виконавчої влади, відповідальний за формування державної політики у сфері цивільного захисту, ДСНС здійснює комплексне інформаційно-аналітичне забезпечення процесів управління ризиками, інтегруючи дані з різних національних і міжнародних джерел. Служба формує та веде державні реєстри, банки даних і спеціалізовані інформаційні системи, серед яких Державний реєстр потенційно небезпечних об'єктів, автоматизовані системи моніторингу хімічних, радіаційних, пожежних та гідрологічних загроз, а також системи раннього виявлення загроз техногенного характеру. На базі ДСНС функціонує оперативно-координаційний центр, що забезпечує цілодобове збирання, перевірку та узагальнення інформації про надзвичайні ситуації, її оперативне поширення органам управління, силам реагування та органам місцевої влади. Завдяки розвиненій мережі пунктів спостереження, спеціалізованих лабораторій та інформаційних вузлів ДСНС виконує роль головного вузла національної системи моніторингу, забезпечуючи надходження в режимі реального часу даних про пожежі, вибухи, аварії, небезпечні метеорологічні явища, радіаційний та хімічний стан довкілля [21].

ДСНС також відповідає за функціонування національної системи оповіщення населення, оперативне інформування через офіційні канали, електронні сервіси та інтеграцію з міжнародними інформаційними платформами. У рамках співпраці з ООН, ЄС, НАТО та іншими міжнародними структурами ДСНС забезпечує обмін інформацією щодо надзвичайних ситуацій, передає аналітичні матеріали до глобальних систем, таких як GDACS, ERCC та UN-SPIDER, а також отримує дані для підтримки реагування та планування заходів цивільного захисту [21].

У сфері геопросторових даних Закон України «Про національну інфраструктуру геопросторових даних» визначає стандарти щодо метаданих та забезпечення доступу до них, встановлюючи єдині правила опису,

структурування та поширення інформації, необхідної для пошуку, ідентифікації та коректного використання геопросторових ресурсів. Закон закріплює вимогу застосування гармонізованих технічних специфікацій, сумісних з директивою INSPIRE, що гарантує уніфіковану систему метаданих для всіх наборів та сервісів геопросторових даних, які створюються органами державної влади, органами місцевого самоврядування та іншими розпорядниками інформації. Метадані мають містити відомості про джерело, якість, актуальність, географічне покриття, умови доступу та обмеження у використанні даних, що забезпечує прозорість та можливість перевірки достовірності інформації. Закон також визначає порядок відкритого доступу до геопросторових даних через електронні сервіси, каталоги та мережеві ресурси НІГД, забезпечуючи безперешкодний обмін просторовою інформацією між державними структурами, науковими установами, бізнесом і громадянами [25].

Нормативно-правове забезпечення геопросторового моніторингу в Україні сформоване на достатньо високому рівні та охоплює всі ключові етапи, починаючи від збору та оброблення даних і закінчуючи їх поширенням та використанням у процесах управління. Регулювання процедур моніторингу, визначення стандартів даних, вимог до метаданих, а також порядок взаємодії між розпорядниками та користувачами є належно встановленими.

Проте, незважаючи на наявність цієї нормативної бази, фактичний обмін геопросторовою інформацією між відомствами залишається на низькому рівні. Це зумовлено рядом системних чинників, серед яких варто виділити фрагментованість відомчих інформаційних систем, відсутність повноцінної технічної інтеграції, різний рівень цифрової зрілості органів влади та нерівномірну імплементацію вимог національної інфраструктури геопросторових даних (НІГД) на практиці.

Державні установи часто продовжують використовувати закриті формати даних або внутрішні бази, які не підтримують інтероперабельність, що

ускладнює передачу інформації в реальному часі. Додатковим бар'єром є обмежений рівень фінансування та кадрових ресурсів, що стримує впровадження сучасних платформ обміну даними та хмарних сервісів. Внаслідок цього значна частина геопросторових даних залишається недоступною для суміжних структур, що знижує ефективність комплексного моніторингу та унеможливорює своєчасне виявлення загроз.

1.4. Особливості застосування ГІС у дослідженні урбанізованих територій

Геоінформаційні системи (ГІС) досягли високого ступеня технологічного розвитку, аналогічно іншим сучасним інформаційним технологіям. Цей багатофункціональний програмно-апаратний комплекс набув широкого впровадження в різних галузях знань та практики. З 1990-х років спостерігається еволюція ГІС від систем, призначених для базового архівування, аналізу та візуалізації просторових даних, до комплексних інструментів підтримки прийняття рішень у спеціалізованих предметних областях [35].

Виникнення потреби у застосуванні ГІС-технологій у сфері міського планування детерміновано хаотичними та інтенсивними трансформаціями, які зазнавали міські й промислові агломерації в середині XIX століття. До завершення зазначеного періоду сформувалася нагальна вимога щодо впровадження спеціалізованих інструментів для інтегральної оцінки множини просторових факторів і умов. Це було необхідною передумовою для формування оптимальних територіальних рішень, які б відповідали стратегічним цілям урбаністичного планування [35].

На цьому ранньому етапі фахівці в галузі містобудування активно залучали архівний та аналітичний функціонал геоінформаційних систем. Процес прийняття планувальних рішень базувався на методах статистичного та

просторового аналізу, реалізація яких, однак, була обмежена ручною обробкою інформації та використанням аналогових картографічних матеріалів [35].

На початку 1970-х років відбувся якісний прогрес у зв'язку з появою перших систем цифрового картографування. Комп'ютерні технології забезпечили інструментарій та методологію для автоматизованої обробки значних масивів даних. Саме в зазначений період були закладені фундаментальні основи сучасних концепцій та практичного застосування ГІС у сфері міського планування [35].

Перехід від аналогових до цифрових форматів графічних даних, зокрема впровадження використання геометричних примітивів (точок, поліліній та полігонів) в єдиній системі координат, надав потужний імпульс розвитку планувальних процесів. Це сприяло оперативній актуалізації міських картографічних матеріалів та спростило проектування територіальних трансформацій, що дозволило багатьом країнам, що розвиваються, інтенсифікувати модернізацію власної картографічної бази [35].

Специфіка застосування геоінформаційних систем при дослідженні урбанізованих територій зумовлена комплексністю просторових процесів, високою щільністю розташування об'єктів та ієрархічною багат шаровістю міського середовища. Урбанізовані простори характеризуються складною структурою, в якій природні компоненти перебувають у тісній взаємодії з техногенними, а високі темпи змін вимагають постійного моніторингу та оновлення просторової інформації [6].

Місто як складна геосистема відрізняється розмаїттям антропогенних об'єктів, таких як транспортна інфраструктура, житлова та промислова забудова, об'єкти культурної спадщини, інженерні мережі та зелені зони. Кожен з цих компонентів формує власний набір геопросторових атрибутів, розвиток і взаємодія яких можуть бути адекватно проаналізовані лише за допомогою ГІС-інструментів. Ці системи дозволяють відображати багаторівневу структуру

міста, моделювати функціональні зони, відстежувати їх динаміку та ідентифікувати конфлікти в землекористуванні.

Суттєвою особливістю є значна нашарованість інфраструктурних мереж, що включають водопровідно-каналізаційні системи, електромережі, газогони, теплотраси, дренажні системи та мережі зв'язку. Їхнє розташування як на поверхні, так і в підземному просторі ускладнює аналіз технічного стану та взаємовплив між різними комунікаціями. Геоінформаційні технології дають змогу інтегрувати дані з різних джерел у єдину багат шарову модель, забезпечуючи тривимірну візуалізацію та комплексний аналіз підземного простору.

Особливого наукового інтересу вимагають специфічні просторові умови міст, розташованих у прибережних зонах, як-от Одеса. Наявність морської акваторії детермінує необхідність обліку комплексу процесів: абразії берегів, підйому глобального рівня моря, зсувоутворення та підтоплення прибережних територій. Геоінформаційні системи застосовуються для моделювання відповідних ризиків, аналізу динаміки берегової лінії, ідентифікації зон потенційної небезпеки та розроблення заходів інженерного захисту.

Суттєвий вплив на просторові дослідження мають також підземні геологічні та антропогенні структури. Зокрема, система одеських катакомб — розгалужена мережа підземних виробок — створює суттєві ризики, пов'язані з просіданням ґрунтів, деформаціями фундаментів будівель та пошкодженням інженерних мереж. Засоби ГІС дають змогу інтегрувати плани катакомб із даними поверхневих об'єктів, моделювати напружено-деформований стан масиву гірських порід і здійснювати прогнозування потенційно небезпечних ділянок [6].

Урбанізовані території характеризуються високою динамічністю таких процесів, як нове будівництво, реконструкція існуючих об'єктів, зміни транспортних потоків, демографічні зрушення та розвиток промислових зон. Ця

динаміка обумовлює вимогу до оперативного оновлення баз геопросторових даних, що реалізується через інтеграцію ГІС із технологіями дистанційного зондування Землі, мобільного картографування, краудсорсинговими платформами та відкритими державними даними [33].

Важливу роль у розвитку ГІС-інструментарію для потреб міського планування відіграв запуск у США супутникової системи Landsat, що започаткувала еру регулярного глобального збору та реєстрації просторово-часових даних. Ця подія стимулювала подальші дослідження щодо вдосконалення методів структурування та аналізу геопросторової інформації.

Після 1980 року розробка та впровадження спеціалізованих систем управління базами даних (СУБД) забезпечили можливість ефективної кодифікації та ідентифікації географічних об'єктів та ключових інфраструктурних елементів міста, що значно прискорило доступ до релевантної інформації.

Починаючи з 1980-х років, спостерігається інтенсивне впровадження ГІС на різних рівнях міського планування: спочатку в розвинених країнах (зокрема в Європі та Північній Америці), а з 1990-х років - і в країнах, що розвиваються.

У 1990-х роках науково-практичний акцент змістився на глибокий просторовий аналіз. Архітектура ГІС почала інтегруватися з потужними аналітичними модулями для виконання складних математико-статистичних обчислень.

Подальша інтеграція технологій глобального позиціонування (GPS) та дистанційного зондування Землі (ДЗЗ), а також масове використання аерофотознімків і супутникової інформації як первинних джерел даних, суттєво підвищили ефективність просторового аналізу та обґрунтованість рішень у містобудуванні.

Сьогодні ГІС є важливим і все більш доступним інструментом міського планування, що дозволяє інтегрувати мультиджерельні дані та корелювати

широкий спектр змінних для забезпечення ефективного прийняття рішень на територіальному рівні.

Зокрема, ГІС широко застосовуються для моніторингу небезпечних об'єктів шляхом їх картографічної візуалізації, аналізу їхнього впливу на навколишнє середовище та моделювання сценаріїв потенційних загроз. Це дозволяє об'єднувати різноманітні дані (геодезичні координати, супутникові знімки, топографічну інформацію, цифрові моделі рельєфу) в єдиному цифровому середовищі для комплексної оцінки ризиків та підтримки управлінських рішень.

На рисунку 1.6 відображені функціональні можливості ГІС.



Рисунок 1.6 - Складові застосування ГІС

Питання застосування ГІС у дослідженні урбанізованих територій розглянуто у роботі Важинського С. Е. [5]. Автор пропонує модель системи моніторингу техногенної безпеки регіону, інтегрованої з ГІС. Основною метою запропонованої системи є отримання оперативної інформації про стан потенційно небезпечних об'єктів та територій, що дозволяє попереджати надзвичайні ситуації, а також ефективно оцінювати їхні масштаби та наслідки в разі виникнення. За ним модель ГІС повинна мати ієрархічну структуру, яка складається з різних послідовних рівнів (таблиця 1.2), що забезпечує масштабованість та деталізацію даних.

Таблиця 1.2 - Структура геоінформаційної системи

Рівень	Шар	Функції / Завдання
Тактичний	об'єктовий	Облік техногенних об'єктів (промислові підприємства, транспортні вузли, потенційно небезпечні об'єкти), їх атрибутів, просторове розміщення, базові характеристики, картографування.
Моніторинговий	ситуаційний	Збір і оновлення даних: спостереження, дані сенсорів, оперативна інформація про події, надзвичайні ситуації, зміни стану об'єктів, інциденти.
Аналітичний	ризиковий	Оцінка рівнів ризику, зон впливу, просторовий аналіз (геопросторове зонування), прогнозування потенційних наслідків, імовірності НС, сценарії «що-якщо».
Регуляторний	управлінський	Підтримка прийняття рішень: планування заходів з безпеки, заходів запобігання, реагування, координація між інстанціями; створення політик, нормативів, схем захисту.
Регіональний	стратегічний	Інтеграція на рівні регіонів чи адміністративних одиниць: узагальнення даних, аналіз тенденцій, системний контроль, стратегічне планування безпеки на рівні регіону.

Теоретично методичні засади застосування ГІС у дослідженні урбанізованих територій розглянуто у роботі Серьогіна Д.С., була розроблена авторська геоінформаційна методика аналізу урбанізованих територій, яка забезпечує інтеграцію різномірних просторових даних, зокрема даних дистанційного зондування Землі, для деталізованої оцінки морфологічних та функціональних змін міст [33].

Досить цікавою є думка Прачика В.В., який у своїй роботі пропонує розробляти геоінформаційні системи моніторингу природних катастроф з використанням об'єктно-орієнтованої методології та технології Java SE. На його думку така система забезпечує комплексний моніторинг, включаючи прогнозування осередків небезпеки, оцінку ризиків для населення та підтримку управлінських рішень у різних режимах - від повсякденного спостереження до роботи в умовах надзвичайної ситуації, а створений графічний інтерфейс спрощує доступ до даних і підвищує функціональність системи [15].

Такі неординарні дані засвідчують практичну важливість роботи, адже запропонована система може слугувати основою для формування сучасних інструментів цивільного захисту, екологічного моніторингу та регіональних інформаційно-аналітичних платформ безпеки.

Отже застосування геоінформаційних систем у дослідженні урбанізованих територій дозволяє забезпечити комплексний аналіз просторової організації міського середовища та динаміки його розвитку. ГІС-технології дають змогу інтегрувати різноманітні дані, включаючи картографічні, статистичні та соціо-економічні показники, що підвищує точність оцінки міських процесів і прийняття управлінських рішень. Використання ГІС сприяє ефективному моделюванню урбаністичних сценаріїв, прогнозуванню змін територій та оцінці ризиків, пов'язаних із перенаселенням, транспортною інфраструктурою та екологічним станом. Особливої уваги заслуговує ієрархічна організація даних у ГІС, що дозволяє здійснювати аналіз на різних рівнях - від окремих об'єктів до цілісних районів і регіонів. У результаті інтеграція ГІС у дослідження урбанізованих територій забезпечує підвищення ефективності планування, управління просторовим розвитком міст та прийняття обґрунтованих рішень у сфері міської політики та безпеки.

У даному розділі досліджено теоретико-методологічні основи використання геоінформаційних систем (ГІС) у моніторингу руйнувань міських територій. Проведений аналіз дозволив сформулювати ключові положення.

Визначено, що моніторинг руйнувань у надзвичайних ситуаціях є системним процесом спостереження, збору, аналізу та документування інформації про стан інфраструктури, спрямованим на оперативне оцінювання наслідків, прогнозування загроз і підтримку прийняття управлінських рішень. Особливу увагу приділено моніторингу потенційно небезпечних об'єктів (ПНО) як превентивній складовій. Виділено сучасні методи, що базуються на інтеграції сенсорних мереж, IoT-технологій, хмарних обчислень та аналітико-прогнозних моделей.

Проаналізовано провідні міжнародні ініціативи (UNOSAT, Copernicus EMS, NASA Disasters Program, Sentinel Asia, GDACS, комерційні програми) щодо ГІС-моніторингу наслідків катастроф і військових конфліктів. Встановлено, що сучасний підхід характеризується комплексним використанням супутникових даних різної роздільної здатності (оптичних, радарних); стандартизацією методик оцінки руйнувань та створення картографічних продуктів; активною роллю краудсорсингу та відкритих даних; поєднанням оперативного реагування (Rapid Mapping) з глибоким аналітико-прогнозним моделюванням (Risk and Recovery Mapping). Досвід, зокрема, моніторингу наслідків конфлікту в Сирії, довів ефективність інтеграції ГІС, ДЗЗ та алгоритмів машинного навчання для створення точних, масштабованих і оперативних систем оцінки.

Систематизовано основні нормативні акти, що регулюють сферу моніторингу надзвичайних ситуацій та геопросторових даних. Визначено ключову роль ДСНС як національного координаційного центру. Констатовано наявність розвиненої нормативної бази, зокрема Закону України «Про національну інфраструктуру геопросторових даних» (НІГД), що гармонізований

із директивою INSPIRE. Однак виявлено суттєвий розрив між формальними засадами та практичною реалізацією, що виражається у фрагментованості інформаційних систем, низькому рівні технічної інтероперабельності між відомствами та недостатній інтеграції національних даних у єдиний простір НІГД.

Простежено історичну еволюцію ГІС від інструментів статичного картографування до комплексних систем підтримки прийняття рішень. Виділено специфіку застосування ГІС для аналізу складних, багат шарових і динамічних міських систем, зокрема: можливість інтеграції різноманітних даних (транспорт, житловий фонд, інженерні мережі, екологічні параметри); ієрархічну організацію моделей даних (від тактичного об'єктового рівня до стратегічного регіонального); ключову роль у моделюванні ризиків, зонуванні територій та плануванні просторового розвитку. Особливо підкреслено значення ГІС для міст зі складною інженерно-геологічною обстановкою (як Одеса), де необхідний аналіз зсувних процесів, стану підземних комунікацій та катакомб.

Таким чином, теоретико-методологічним підсумком розділу є обґрунтування ГІС як незамінного інструменту для створення комплексної, оперативної та науково-обґрунтованої системи моніторингу руйнувань міської інфраструктури. Отримані висновки формують концептуальну основу для подальшої практичної розробки та впровадження геоінформаційної системи для м. Одеси, враховуючи як світові тенденції, так і національні реалії й особливості досліджуваної території.

РОЗДІЛ 2

ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕРИТОРІЇ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ДЖЕРЕЛ ГЕОПРОСТОРОВИХ ДАНИХ

2.1. Загальна фізико-географічна та соціально-економічна характеристика міста Одеса

Місто Одеса розташоване на північно-західному узбережжі Чорного моря в межах Причорноморської низовини. Рельєф місцевості переважно рівнинний, проте характеризується специфічними особливостями: більша частина міської території розташована на плато з абсолютними висотами близько 50 м, яке круто обривається до моря, формуючи берегові уступи та активні зсувні ділянки, що створює значні інженерно-геологічні обмеження для будівництва та вимагає постійних берегоукріплювальних заходів. Гідрографічна мережа представлена акваторією Чорного моря та прилеглими великими лиманами (Куяльницьким, Хаджибейським та Сухим), що мають важливе бальнеологічне та рекреаційне значення. Клімат помірно континентальний з ознаками субтропічного, що визначається тривалим спекотним літом (середня температура липня $+25^{\circ}\text{C}$) та м'якою, малосніжною зимою (середня температура січня близько 0°C). Регіон характеризується недостатнім зволоженням (450–600 мм опадів на рік) та високою сонячною радіацією, що зумовлює його курортно-рекреаційний потенціал [14].

Внаслідок свого положення на перетині міжнародних морських комунікацій Чорноморського басейну, Одеса функціонує як головний мультимодальний транспортний вузол, інтегруючи залізничні та автомобільні магістралі з морськими перевезеннями. Це забезпечує перевалку стратегічних вантажів (зерно, нафтопродукти, контейнери) і робить портову діяльність основним економічним драйвером міста, формуючи значну частку його доходів та зайнятості. Конкурентоспроможність порту підсилюється природними перевагами глибоководної та захищеної хвилерізами гавані. Водночас

прибережна зона, окрім кліматомодифікуючого та рекреаційного впливу (пляжі, курортні зони), є джерелом специфічних ризиків, таких як активна абразія берега та зсувні процеси, що потребують постійних інженерно-технічних заходів. Інтенсивна господарська діяльність у портовій зоні також формує екологічні виклики, пов'язані із забрудненням морських вод [14].

Транспортна система міста детермінована його приморським розташуванням та функцією головного морського порту країни. Основу громадського транспорту становлять електричні види (трамвай, тролейбус) та автобуси. Трамвайна мережа, одна з найпотужніших в Україні, виконує ключову роль у магістральних пасажирських перевезеннях, зокрема сполучаючи великі житлові масиви (наприклад, напрям «Північ-Південь»). Дорожня мережа має радіально-кільцеву структуру в історичному центрі, що призводить до значного навантаження та заторів на головних магістралях (Фонтанська дорога, Люстдорфська дорога, основні проспекти). Критичним викликом є інтеграція портової логістики з міською інфраструктурою: вантажопотоки, спрямовані до Одеського та Чорноморського портів, суттєво навантажують вуличну мережу, що актуалізує потребу в розвитку об'їзних шляхів та розв'язок для їх відведення від житлових районів. Залізнична інфраструктура також тісно інтегрована з портовими терміналами.

Житлова забудова Одеси відрізняється високою гетерогенністю за віковими та архітектурними параметрами, що формує диференційовані вимоги до її експлуатації та модернізації. В історичному центрі переважає забудова кінця XIX - початку XX століття, яка має значну архітектурно-історичну цінність. Однак цей фонд характеризується фізичним зносом та потребує системних капітальних ремонтів інженерних комунікацій і несучих конструкцій, ризики пошкодження яких посилюються активними зсувними процесами в прибережній смузі.

Великі житлові райони сформовані переважно типовими панельними та великоблочними будинками радянського періоду, які потребують комплексної термомодернізації для підвищення енергетичної ефективності та відповідності сучасним стандартам. З початку 2000-х років спостерігається активне будівництво нових житлових комплексів. Незважаючи на поліпшення якості самого житла, даний процес часто супроводжується зростанням щільності забудови та створює додаткове навантаження на інженерну та соціальну інфраструктуру, що не завжди розвивається синхронно.

Критична інженерна інфраструктура. Ця група об'єктів забезпечує життєдіяльність міста і потребує особливого рівня захисту та формування стійкості. Система енергозабезпечення базується на теплових електростанціях, ключових трансформаторних підстанціях та магістральних лініях електропередачі, від безперебойної роботи яких залежить функціонування систем опалення та електропостачання. Забезпечення резервними джерелами енергії є пріоритетним завданням. Водопостачання здійснюється переважно з річки Дністер, а критичними елементами системи є водозабірні споруди, насосні станції та магістральні водоводи. Мережа водовідведення включає розгалужену каналізаційну систему та потужні очисні споруди, розташовані в прибережній зоні, стабільна робота яких має вирішальне значення для запобігання екологічного забруднення акваторії Чорного моря.

Соціальна інфраструктура. Місто функціонує як головний медичний центр південного регіону України, об'єднуючи багатoproфільні клінічні лікарні, спеціалізовані диспансери та поліклінічні установи. Освітня мережа представлена розвиненою системою дошкільних та загальноосвітніх закладів, а також значним кластером закладів вищої освіти, серед яких Одеський національний університет імені І. І. Мечникова, Одеський політехнічний університет та Одеський національний медичний університет. Стан і пропускна

здатність шкільних та дошкільних закладів є прямим фактором якості життя в районах нової житлової забудови.

Демографічні та соціально-культурні характеристики. Одеса є ядром великої Одеської агломерації. Чисельність її населення до початку повномасштабного вторгнення становила близько 1,01 млн осіб. Місто традиційно має багатонаціональний та полікультурний характер, сформований історично як порт і торговий центр, що сприяло виникненню унікального соціокультурного середовища. Соціально-економічний статус міста визначається розвиненим сектором послуг, високою концентрацією освітніх і наукових установ, потужним культурним потенціалом (Національний академічний театр опери та балету, філармонія, музеї), а також значною часткою працюючих у сферах транспорту, логістики та туризму [14].

З метою ефективного управління територією, місто поділено на чотири адміністративні райони, які мають різну площу, демографічне навантаження та функціональне значення(рис.2.1) [16].

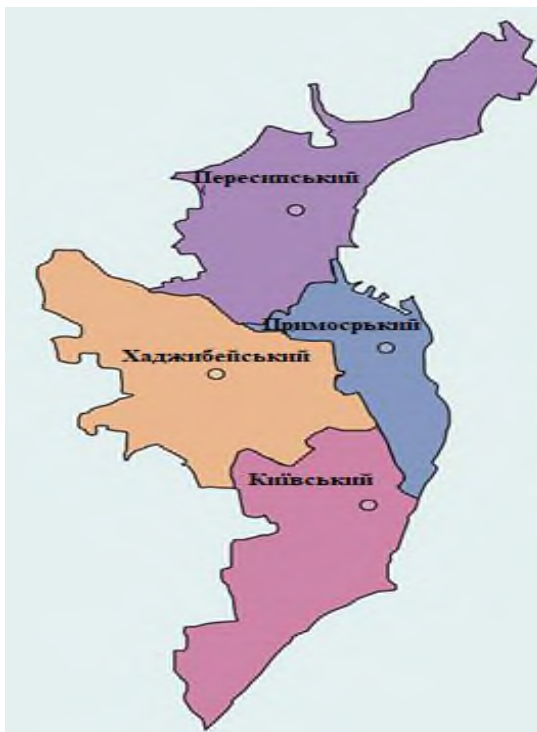


Рисунок 2.1 - Районування м. Одеси

Приморський район вважається адміністративним, культурним та діловим центром міста. Тут розташовані історичні пам'ятки, головні державні установи, найбільші пляжі та рекреаційні зони, а також більшість вищих навчальних закладів. Район має високу щільність забудови та значну частку населення [16].

Київський район розташований у південній частині міста, характеризується інтенсивною житловою забудовою (зокрема, новими мікрорайонами) та менш вираженою промисловою функцією. Є одним з найбільших за чисельністю населення районів [16].

Хаджибейський район знаходиться у західній частині міста. Це район із вираженою промисловою та складською функцією, а також великими житловими масивами. Він традиційно має значну частку населення, зайнятого у виробничому секторі [16].

Пересипський район розташований у північній частині міста, включає частину портової інфраструктури та значні промислові зони. Це також великий житловий масив, який є одним із найбільших за площею і має значну частку населення, яке історично займалося роботою в порту та на виробництві [16].

Економічна структура Одеси є багатогалузевою та високодиверсифікованою, проте її функціональне та фінансове ядро історично та стратегічно пов'язане зі статусом великого чорноморського порту. Це визначило домінування транспортно-логістичного комплексу, сфери послуг та туристично-рекреаційного сектору у структурі міського валового продукту.

Транспортно-логістичний комплекс є фундаментальною основою економіки Одеси. Одеський морський торговельний порт - один із найбільших і найпотужніших у Чорноморському басейні - забезпечує перевалку критично важливих обсягів експортно-імпортних вантажів, включаючи контейнери, нафтопродукти, зернові культури, метали та інші генеральні вантажі. Портова діяльність тісно пов'язана з розвитком логістичної та складської інфраструктури, а також значної кількості транспортно-експедиційних компаній

і митних брокерів, що обслуговують міжнародні вантажопотоки. Це доповнюється роллю міста як великого залізничного вузла та його розташуванням на перетині міжнародних автомобільних коридорів, що забезпечує необхідну мультимодальність перевезень.

Сфера послуг та туризм демонструють стабільне зростання, користуючись унікальним курортно-рекреаційним потенціалом міста. Завдяки м'якому клімату, морю, а також лікувальним ресурсам прилеглих лиманів (грязі Куяльника та Хаджибея), Одеса є провідним курортним центром України. Розвинена інфраструктура (Аркадія, Ланжерон) та сфера гостинності забезпечують значний приплив туристів та, відповідно, формування значних надходжень до міського бюджету, хоча й має місце сезонність. Місто також є важливим центром оптової та роздрібної торгівлі. Останніми роками Одеса активно перетворюється на один із динамічно зростаючих ІТ-хабів України, залучаючи аутсорсингові та продуктові технологічні компанії, що підвищує інноваційний потенціал економіки.

Промисловий сектор має чіткий індустріальний профіль, хоча його частка у структурі ВВП міста поступово зменшується на користь послуг. Однією з традиційних та найрозвиненіших галузей залишається харчова промисловість (борошномельні, олійно-жирові, консервні та виноробні підприємства), що обумовлено наявністю порту та близькістю до аграрних районів. Машинобудування та металообробка включають суднобудування та судноремонт, а також виробництво сільськогосподарської техніки. Важливе значення має хімічна та нафтопереробна промисловість, хоча найбільші підприємства (як-от Одеський припортовий завод) розташовані поза межами міста, але тісно інтегровані в його економічну систему.

Нарешті, наявність великої кількості вищих навчальних закладів та науково-дослідних інститутів формує потужний науково-освітній комплекс,

який є постачальником кваліфікованих кадрів для ключових секторів (ТЛК, ІТ) і підтримує інвестиційну привабливість міста.

В цілому, економіка Одеси демонструє високу стійкість та багатоманітність, проте її ключові виклики пов'язані з необхідністю модернізації інфраструктури, подоланням сезонності туризму та зменшенням залежності від зовнішньоторговельної кон'юнктури.

2.2. Джерела просторових даних для оцінювання зруйнованості

Системна оцінка руйнувань інфраструктури вимагає комплексного підходу до збору та інтеграції різномірних геопросторових даних. Джерела цих даних класифікуються за методом отримання, рівнем деталізації, форматом представлення та рівнем офіційності, формуючи єдину інформаційну основу для ГІС-аналізу. Насамперед джерела просторових даних - це дані ДЗЗ, векторні та картографічні основи, а також відкриті дані та звіти.

До офіційних відкритих даних в Україні ключовим джерелом є НІГД, створена відповідно до Закону України "Про національну інфраструктуру геопросторових даних". До них відносять:

- Національний геоportal;
- Державний земельний кадастр;
- Містобудівні кадастри [25].

Дистанційне зондування Землі - це збір інформації про поверхню планети та об'єкти на ній за допомогою аерокосмічних засобів (супутників, літаків), які фіксують електромагнітне випромінювання без прямого контакту, що дозволяє створювати карти, моніторити стан екосистем, допомагати у сільському господарстві, містобудуванні та рятувальних операціях. Воно включає в себе космічні знімки та аерофотозйомку, отриману з літаків або безпілотних літальних апаратів, яка використовується для створення детальних

ортофотопланів і високоточних цифрових моделей рельєфу за допомогою технології Лідар [6].

Глобальні відкриті геоінформаційні проєкти, такі як OpenStreetMap, є важливим джерелом деталізованих векторних даних (дороги, будівлі, інфраструктура), які постійно оновлюються спільнотою, тоді як сервіси на кшталт Google Maps надають корисну фонову інформацію та супутникові знімки [6].

Нарешті, польові вимірювання за допомогою GPS/GNSS приймачів та геодезичного обладнання забезпечують найвищу точність даних, необхідних для інженерних робіт та кадастру. За структурою, ці дані поділяються на векторні (точки, лінії, полігони для дискретних об'єктів) та растрові (сітка пікселів, що представляє знімки або моделі рельєфу), причому обидва формати є критично важливими для комплексного ГІС-аналізу [4].

Для забезпечення об'єктивної, оперативної та детальної оцінки ступеня руйнувань, спричинених військовими діями, використовується інтегрований комплекс просторових даних, які класифікуються за рівнем деталізації, методом збору та доступністю.

На локальному рівні, що вимагає найвищої точності, застосовуються дані аерозйомки та Безпілотних Літальних Апаратів (БПЛА). Фотограмметричні знімки з БПЛА забезпечують роздільну здатність у межах 1-10 сантиметрів на піксель, що дозволяє створювати тривимірні моделі (3D-моделі) зруйнованих об'єктів, високоточні ортофотоплани та проводити розрахунок обсягу завалів для планування прибирання. Лідарне сканування з БПЛА надає високоточні дані про висоти, необхідні для створення точних Цифрових Моделей Поверхні (ЦМП), які є основою для інженерного відновлення.

Для верифікації та контекстуалізації даних ДЗЗ використовуються краудсорсинг. Відкриті дані державних органів, такі як Реєстр пошкодженого та знищеного майна, надає критичну атрибутивну інформацію про юридичний

статус об'єктів, їхню площу та функціональне призначення, що необхідно для оцінки економічних втрат. Оперативні та відомчі дані, зокрема Карти та звіти ДСНС, використовуються для верифікації місць подій (пожеж, обстрілів) та оцінки первинних обсягів руйнувань. Нарешті, польові обстеження (Ground Truthing), що проводяться на місці за допомогою мобільних ГІС-додатків, є завершальним етапом, забезпечуючи найточнішу фотофіксацію та збір даних про ремонтпридатність об'єктів, що робить процес оцінювання зруйнованості максимально комплексним та достовірним [4].

З технічної точки зору всі згадані джерела представлені двома основними форматами, критично важливими для ГІС-аналізу: векторні та растрові дані.

Векторні дані моделюють об'єкти реального світу у вигляді точок, ліній та полігонів. Використовуються для представлення дискретних об'єктів: будинків, доріг, інженерних мереж.

Растрові дані організовані у вигляді сітки пікселів (комірок). До них належать супутникові знімки, аерофотознімки, скани карт, а також похідні продукти, такі як цифрові моделі рельєфу (ЦМР) [4].

Отже, для об'єктивної оцінки зруйнованості необхідно інтегрувати дані з трьох взаємодоповнюючих категорій:

1. Дані дистанційного зондування та похідні картографічні продукти (ортофотоплани, ЦМП) для виявлення та документування фізичних змін.
2. Офіційні державні реєстри, оперативні звіти та публічні інформаційні джерела для отримання атрибутивної, юридичної та контекстуальної інформації.
3. Дані польових обстежень для валідації та уточнення інформації, зібраної дистанційними методами.

Такий комплексний підхід забезпечує створення достовірної, багатоварової геоінформаційної моделі для аналізу наслідків, планування відновлення та прийняття управлінських рішень

2.3 Підготовка та верифікація вихідних даних для ГІС-аналізу

Якість і точність результатів будь-якого Географічного Інформаційного Системного (ГІС) аналізу безпосередньо залежать від якості вихідних даних. Процес підготовки та верифікації даних є критично важливим і складається з кількох послідовних етапів.

На підготовчому етапі здійснюється:

- Збір первинної інформації з різних джерел (дистанційного зондування Землі (супутникові знімки, ортофотоплани), державних кадастрів, статистичних баз даних, польових обстежень, архівних матеріалів);
- Формалізація отриманих даних - визначення системи координат, одиниць вимірювання, часової прив'язки, масштабності;
- Попередня обробка цифрових зображень - корекція геометричних спотворень, покращення якості, обрізання, нормалізація.

У процесі підготовки всі матеріали приводяться до єдиного формату, узгоджуються за системою координат, проходять первинну обробку та фільтрацію з метою усунення помилок, неякісних фрагментів чи застарілих даних.

Наступним етапом проводиться верифікація даних, яка спрямована на перевірку достовірності та точності отриманої інформації. Він включає зіставлення медійних повідомлень із супутниковими знімками різних сервісів, а також перевірку цих даних на основі польових обстежень. Такий підхід дає змогу підтвердити факти руйнувань, встановити часову прив'язку подій, уточнити характер пошкоджень і виключити неточності чи інформаційні дублікати. Особливу цінність має порівняння фото- та відеоматеріалів зі ЗМІ із супутниковими даними, що дозволяє визначити об'єкти, які не одразу відображаються на знімках, та встановити реальну масштабність руйнувань.

При розробці кваліфікаційної роботи ми використовували усі можливі типи джерел. За допомогою сервісів програмного забезпечення Google Earth Pro

ми маємо використати функцію історичних знімків, яка є основним засобом аналізу динаміки руйнувань. На даний момент останнє оновлення ортофото міста Одеси датується початком 2023 року. Послідовний перегляд супутникових даних різних років і місяців дозволяє визначати момент виникнення пошкоджень, оцінювати ступінь їхнього розвитку та зіставляти стан об'єктів до та після військових атак. Завдяки високій роздільній здатності вдається виявляти зміни в покрівлях будівель, сліди вибухових впливів, вирви, обвали, деструкцію транспортної інфраструктури, пошкодження промислових комплексів і житлових кварталів.

Нижче як приклад на рисунках представлені знімки з сервісу Google Earth Pro для порівняння ортофотознімків 2021 та 2023 років.



Рисунок 2.2 - ПАТ «Одеський НПЗ» станом на 2023 рік



Рисунок 2.3 - ПАТ «Одеський НПЗ» станом на 2025 рік



Рисунок 2.4 - Промислове підприємство на території промвузла «Застава»
станом на 2023 рік



Рисунок 2.5 - Промислове підприємство на території промвузла «Застава»
станом на 2025 рік

Також збір інформації був проведений за допомогою сервісів ESRI, оскільки останні доступні супутникові знімки датовані 2024 роком. Нижче наведені приклади.



Рисунок 2.6 - Одеський Спасо-Преображенський кафедральний собор
станом на 2023 рік



Рисунок 2.7 - Одеський Спасо-Преображенський кафедральний собор
станом на 2025 рік



Рисунок 2.8 - Житлова забудова на території Приморського району станом на
2023 рік



Рисунок 2.9 - Житлова забудова на території Приморського району станом на 2025 рік



Рисунок 2.10 - Житлова забудова на території Приморського району станом на 2023 рік



Рисунок 2.11 - Житлова забудова на території Приморського району станом на 2025 рік

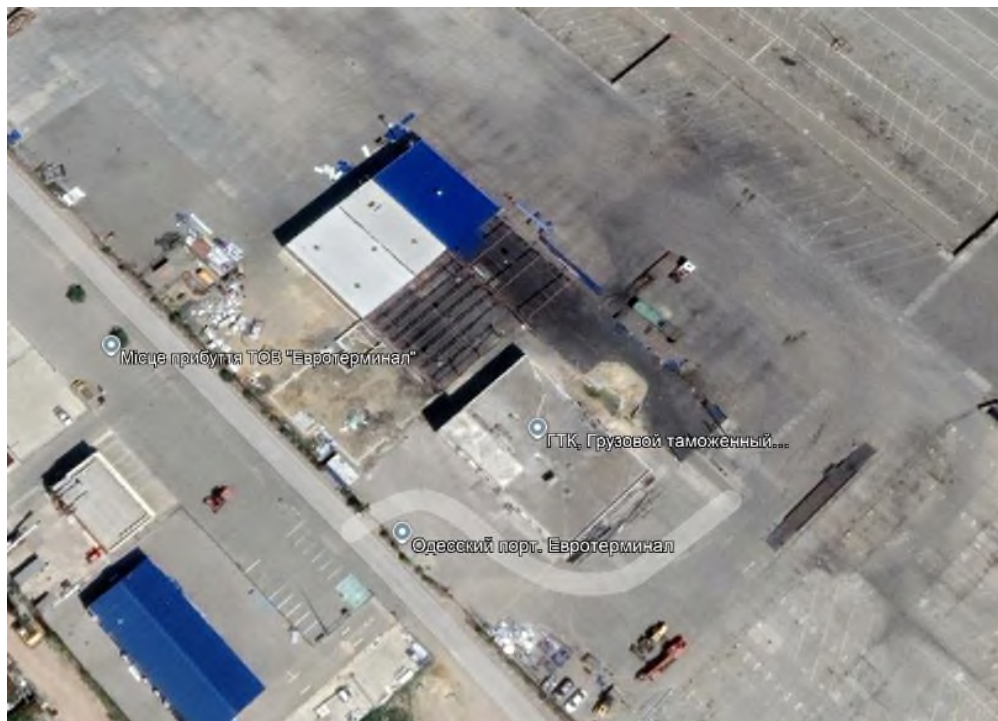


Рисунок 2.12 - Одеський «Евротермінал» станом на 2023 рік

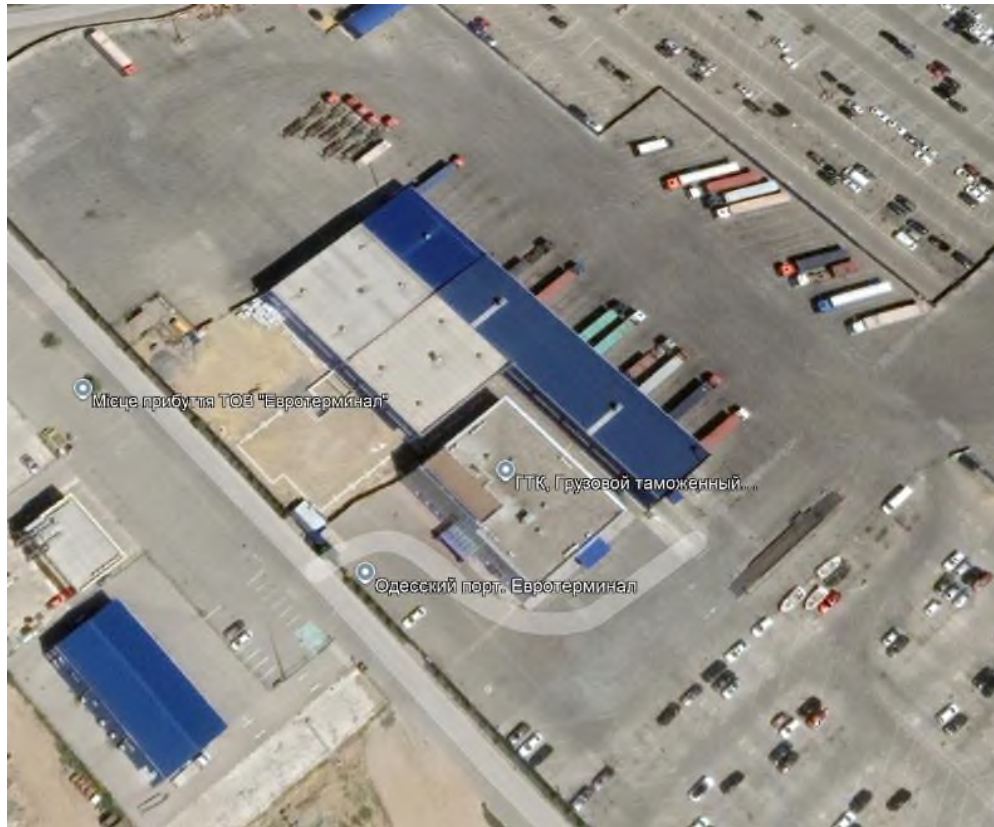


Рисунок 2.13 - Одеський «Евротермінал» станом на 2025 рік

Завдяки такому підходу ми можемо здійснити додаткову верифікацію об'єктів, позначених у Google Earth Pro та ESRI IMAGE, шляхом порівняння різних часових шарів, використання інструментів зміни прозорості та синхронного перегляду «до/після». Окрім цього, ми можемо уточнити межі пошкоджених територій, детальніше простежити структуру руйнувань у зонах щільної забудови та отримати більш чітку атрибутивну інформацію, необхідну для формування повноцінної ГІС-бази. У результаті поєднання даних Google Earth Pro з актуальними зображеннями ESRI значно підвищило точність аналізу, дозволило сформувати хронологічно повну картину руйнувань та забезпечило більш надійний просторовий фундамент для подальшого картографування.

Наступним кроком були опрацьовані дані засобів масової інформації. Реєстр пошкодженого та знищеного майна ми, як фізичні особи не мали змоги проаналізувати так як доступ до нього обмежений.

Опрацьовані дані засобів масової інформації дозволили уточнити часові рамки подій, локалізувати окремі епізоди руйнувань та отримати описові характеристики, недоступні на супутникових знімках. Повідомлення новинних агенцій, офіційних міських структур, ДСНС, військових адміністрацій, а також матеріали локальних медіаресурсів надали можливість встановити місця влучань.

На основі цих даних здійснювалося зіставлення медійних повідомлень з інформацією, отриманою із супутникових сервісів Google Earth Pro та ESRI, що дозволяло підтвердити факт руйнувань, виявити об'єкти, які з різних причин не були одразу помітні на знімках, а також встановити точні дати та наслідки ударів. Деякі медіаматеріали містили фотографічні або відеодокази з місця події, що дало змогу уточнити характер пошкоджень будівель, ступінь деструкції фасадів, інженерних мереж і транспортної інфраструктури.

Крім того, аналіз повідомлень ЗМІ дозволив визначити пріоритетні зони для подальшого детального дослідження, оскільки саме медійні джерела першими інформували про нові руйнування.

Таким чином, проаналізувавши усі джерела, ми склали зведену таблицю, яка наведена нижче, з інформацією про об'єкт, адресу, дату події, характер та ступінь руйнування, а також джерело підтвердження, що дозволило систематизувати розрізнені дані в єдину структуровану основу. У таблицю 2.1 були включені відомості, отримані з супутникових сервісів Google Earth Pro та ESRI, повідомлень засобів масової інформації, офіційних прес-релізів, що забезпечило багатоканальну верифікацію кожного зафіксованого випадку.

Таблиця 2.1 - Відомості про частково або повністю зруйновані об'єкти на території міста Одеса

№	Тип об'єкта	Адреса	Рік	Рівень руйнування
1	Житловий будинок	вул. Канатна	2022	Часткове руйнування
2	Адміністративна будівля	вул. Дерибасівська	2023	Повне руйнування
3	Школа	вул. Преображенська	2024	Пошкодження фасаду
4	Дитячий садок	вул. Генуезька	2025	Пошкодження даху
5	Лікарня	вул. Академіка Філатова	2022	Пожежа після удару
6	Інфраструктурний об'єкт	вул. Балківська	2023	Часткове руйнування
7	Торговельний центр	вул. Сегедська	2024	Повне руйнування
8	Складське приміщення	вул. Люстдорфська дорога	2025	Пошкодження фасаду
9	Промисловий об'єкт	вул. Чорноморського козацтва	2022	Пошкодження даху
10	Об'єкт культурної спадщини	вул. Маразліївська	2023	Пожежа після удару
11	Житловий будинок	вул. Пушкінська	2024	Часткове руйнування
12	Адміністративна будівля	вул. Велика Арнаутська	2025	Повне руйнування
13	Школа	вул. Мала Арнаутська	2022	Пошкодження фасаду
14	Дитячий садок	вул. Рішельєвська	2023	Пошкодження даху
15	Лікарня	вул. Єврейська	2024	Пожежа після удару
16	Інфраструктурний об'єкт	вул. Буніна	2025	Часткове руйнування

17	Торговельний центр	вул. Суднобудівна	2022	Повне руйнування
18	Складське приміщення	вул. Чорноморська	2023	Пошкодження фасаду
19	Промисловий об'єкт	вул. Софіївська	2024	Пошкодження даху
20	Об'єкт культурної спадщини	вул. Пироговська	2025	Пожежа після удару
21	Житловий будинок	вул. Французький бульвар	2022	Часткове руйнування
22	Адміністративна будівля	вул. Водопровідна	2023	Повне руйнування
23	Школа	вул. Успенська	2024	Пошкодження фасаду
24	Дитячий садок	вул. Старопортофранківська	2025	Пошкодження даху
25	Лікарня	вул. Катерининська	2022	Пожежа після удару
26	Інфраструктурний об'єкт	вул. Космонавтів	2023	Часткове руйнування
27	Торговельний центр	вул. Толбухіна	2024	Повне руйнування
28	Складське приміщення	вул. Добровольського	2025	Пошкодження фасаду
29	Промисловий об'єкт	вул. Середньофонтанська	2022	Пошкодження даху
30	Об'єкт культурної спадщини	вул. Варненська	2023	Пожежа після удару
31	Житловий будинок	вул. Південна дорога	2024	Часткове руйнування
32	Адміністративна будівля	вул. Ільфа і Петрова	2025	Повне руйнування
33	Школа	вул. Жуковського	2022	Пошкодження фасаду
34	Дитячий садок	вул. Базарна	2023	Пошкодження даху
35	Лікарня	вул. Канатна	2024	Пожежа після удару

36	Інфраструктурний об'єкт	вул. Ланжеронівська	2025	Часткове руйнування
37	Торговельний центр	вул. Чайковського	2022	Повне руйнування
38	Складське приміщення	вул. Грецька	2023	Пошкодження фасаду
39	Промисловий об'єкт	вул. Польська	2024	Пошкодження даху
40	Об'єкт культурної спадщини	вул. Троїцька	2025	Пожежа після удару
41	Житловий будинок	вул. М'ясоїдівська	2022	Часткове руйнування
42	Адміністративна будівля	вул. Старосінна площа	2023	Повне руйнування
43	Школа	вул. Богдана Хмельницького	2024	Пошкодження фасаду
44	Дитячий садок	вул. Приморська	2025	Пошкодження даху
45	Лікарня	вул. Італійський бульвар	2022	Пожежа після удару
46	Інфраструктурний об'єкт	вул. Садова	2023	Часткове руйнування
47	Торговельний центр	вул. Бочарова	2024	Повне руйнування
48	Складське приміщення	вул. Героїв Крут	2025	Пошкодження фасаду
49	Промисловий об'єкт	вул. Паустовського	2022	Пошкодження даху
50	Об'єкт культурної спадщини	вул. Висоцького	2023	Пожежа після удару

Така узагальнена форма подання даних дала змогу зіставити просторові та атрибутивні характеристики руйнувань. Зведена таблиця стала ключовою вихідною базою для проведення польових обстежень та подальшого імпорту даних у геоінформаційну систему, створення тематичних шарів руйнувань, проведення просторового аналізу, моделювання наслідків та візуалізації результатів дослідження.

Потреба польових обстежень виникає через подання хибної інформації в засобах масової інформації, адже медійні повідомлення часто містять неточності щодо місця події, масштабу руйнувань або навіть самого факту пошкодження об'єкта. У ряді випадків журналісти подають загальні описові дані без точної адреси, плутають райони або використовують архівні фото, що створює ризик некоректного перенесення інформації у геоінформаційну базу. Окрім того, частина новинних матеріалів має емоційний або сенсаційний характер, через що дані перебільшуються або акцентуються не на тих елементах, які є важливими для просторового аналізу.

Польові обстеження дозволяють усунути ці невідповідності шляхом візуальної перевірки фактичного стану об'єкта, уточнення географічних координат, фіксації реального обсягу руйнувань та збирання фото- і відеоматеріалів для подальшої валідації супутникових даних. Без проведення таких перевірок існує ризик формування недостовірної ГІС-картини, що може призвести до помилок у подальших аналітичних моделях, хибної оцінки масштабів пошкоджень або неправильного визначення пріоритетних зон відновлення. Таким чином, польові обстеження виступають важливим елементом контролю якості, забезпечують достовірність інформації й дозволяють сформувати повну та точну базу даних для моніторингу руйнувань міста Одеси.

Головною метою цього підрозділу було перетворення розрізнених, неструктурованих відомостей про руйнування міської інфраструктури на єдиний, стандартизований масив геопросторових даних. Нами застосована багатоканальна методика верифікації. Інформація про пошкоджені об'єкти збиралася та перехресно перевірялася з кількох джерел: візуальна фіксація та геоприв'язка за допомогою супутникових сервісів (Google Earth Pro та ESRI), що дозволило визначити координати та характер пошкоджень; аналіз повідомлень засобів масової інформації для підтвердження часу події;

Зведена таблиця, яка є структурованою базою даних для ГІС містить усі необхідні атрибути, критичні для аналізу: ідентифікатор об'єкта, точну адресу, дату події, характер та ступінь руйнування, а також джерело підтвердження.

У даному розділі проведено комплексну характеристику території дослідження та сформовано методологічну основу для збору та підготовки геопросторових даних, необхідних для оцінювання ступеня зруйнованості міської інфраструктури.

Аналіз території міста Одеса виявив унікальний комплекс природних та антропогенних чинників, що визначають його вразливість та формування ризиків. Встановлено, що місто, розташоване на плато Причорноморської низовини з активними зсувними процесами, є потужним мультимодальним транспортним вузлом зі складною, диверсифікованою економікою, ядрами якої є портово-логістичний комплекс та сфера послуг. Природно-географічні особливості (круті берегові укоси, абразія) поєднуються зі специфікою інфраструктури: гетерогенним житловим фондом, що потребує модернізації, навантаженою транспортною мережею радіально-кільцевої структури та критичною інженерною інфраструктурою, залежною від віддалених джерел (р. Дністер). Адміністративно-територіальний поділ на чотири райони (Приморський, Київський, Хаджибейський, Пересипський) з різним функціональним навантаженням дозволяє диференціювати аналіз наслідків впливу за просторовим та функціональним ознаками.

Систематизовано джерела геопросторових даних для оцінювання руйнувань, що поділяються на три взаємодоповнюючі категорії:

Дані дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) - супутникові знімки середньої деталізації для оперативного огляду та дані БПЛА (фотограмметрія, лідар) надвисокої роздільної здатності для локального аналізу та створення 3D-моделей і цифрових моделей поверхні.

Офіційні реєстри та інформаційні ресурси - дані Національної інфраструктури геопросторових даних (НІГД), державні реєстри (зокрема, Реєстр пошкодженого майна), оперативні звіти ДСНС, а також глобальні відкриті проекти (OpenStreetMap) та ЗМІ для отримання атрибутивної та контекстуальної інформації.

Дані польових обстежень (Ground Truthing) є ключовим інструментом верифікації, що забезпечує точну геоприв'язку, фотофіксацію та оцінку реального стану об'єктів, усуваючи неточності інших джерел.

Розроблено та впроваджено практичну методику підготовки та верифікації вихідних даних. Методика включала послідовні етапи: збір первинної інформації з супутникових сервісів (Google Earth Pro, ESRI) з аналізом часових зрізів, аналіз та зіставлення даних ЗМІ, структурування відомостей у зведену таблицю з обов'язковими атрибутами (тип об'єкта, адреса, дата, рівень руйнування, джерело). Критичним завершальним етапом стало проведення польових обстежень для всіх ідентифікованих об'єктів, що дозволило провести фінальну валідацію, уточнити координати, характер та масштаб пошкоджень, а також усунути можливі помилки, пов'язані з неточностями медійних повідомлень.

У результаті виконаної роботи сформовано стандартизовану, багатоварову та верифіковану геоінформаційну базу даних, що містить інформацію про 50 пошкоджених об'єктів різних типів та функціонального призначення на території м. Одеса. Ця база є надійним фундаментом для подальшого ГІС-аналізу, моделювання наслідків, просторової візуалізації та прийняття обґрунтованих рішень щодо пріоритетів відновлення міської інфраструктури.

РОЗДІЛ 3

СТВОРЕННЯ ГЕОІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ РУЙНУВАНЬ МІСТА ОДЕСА

3.1 Розроблення структури ГІС-проекту

На відміну від традиційних паперових карт, карти на основі ГІС динамічні, компактні та інтерактивні. Вони допомагають виділити конкретні об'єкти, з десятків або сотні тисяч інших на карті, і таким чином виявляти зміни, які раніше не помічалися, а також відслідковувати динаміку змін, що відбулися протягом певного відрізка часу, відповідно до обраних параметрів. Геоінформаційне картографування має певні завдання, які постійно удосконалюються:

- автоматизоване створення та використання карт в програмному забезпеченні ГІС з використанням різнотипних даних, наприклад картографічних, числових, текстових, графічних, табличних тощо, а не лише картографічних даних;
- застосування системного наукового підходу до відображення та аналізу геосистем, що може відбуватися за допомогою серій географічних карт та географічних атласів різних регіональних рівнів з ціннісною характеристикою його компонентів: об'єкта, предмета, методів, завдань, сукупності засобів та чіткої послідовності проведення досліджень;
- інтерактивність картографування, що здійснюється в режимі двосторонньої діалогової взаємодії людини (користувача, картографа) і комп'ютера, обміну між ними послідовністю запитів та відповідей з метою втручання і керування обчислювальним процесом, процесом моделювання, а також тісний зв'язок методів створення та використання еколого-географічних карт;
- оперативність картографування, що дає змогу отримувати дані та проводити даний процес в реальному масштабі часу і отримувати результати

для представлення користувачам в масштабі часу, що наближається до реального.

В залежності від завдань візуалізації, карти ГІС можуть поділятися на різні види і відображати що завгодно, наприклад: густоту населення, класифікацію сільськогосподарських культур на полі, динаміку.

Перед розробкою ГІС необхідно визначитись з програмним середовищем в якому вона буде створена. В нашому випадку ми використовуємо забезпечення Q-GIS. Це потужне, відкрите та безкоштовне геоінформаційне програмне забезпечення, яке широко використовується для збору, аналізу, редагування та візуалізації просторових даних. Воно працює на різних операційних системах, зокрема Windows, Linux та macOS, що робить його доступним для широкого кола користувачів. Дана програма має широкий набір інструментів для геообробки - буферизація, перетин, об'єднання, аналіз рельєфу, класифікація об'єктів та інші аналітичні операції.

Завдяки своїй гнучкості та широким можливостям QGIS є ефективним засобом для реалізації проєктів картографування, моніторингу руйнувань, міського планування, екологічного аналізу, управління земельними ресурсами та інших задач, де потрібна точна та надійна обробка просторових даних. Це програмне забезпечення стало одним із найпопулярніших ГІС-рішень у науковій, освітній, природоохоронній та інженерній сферах.

Отже Q-GIS має низку вагомих переваг при розробці даної кваліфікаційної роботи, насамперед, програмне забезпечення підтримує роботу з різноманітними форматами супутникових зображень та ортофотопланів, що дозволяє інтегрувати дані дистанційного зондування, необхідні для виявлення та оцінювання руйнувань. QGIS забезпечує зручні засоби геоприв'язки, що дає можливість точно співставляти медійні матеріали, польові дані та супутникові знімки, формуючи єдине інформаційне середовище. Важливою перевагою є можливість створення, редагування та класифікації векторних шарів різних

типів, що дозволяє детально відобразити пошкоджені об'єкти - від точкових локалізацій ударів до полігональних контурів зруйнованих будівель або інфраструктурних елементів.

Створення та налаштування геоінформаційної бази даних описує процес формування структурованого сховища просторових та атрибутивних даних, яке є основою для всіх подальших аналізів у ГІС.

Узагальнена схема бази даних ГІС включає в себе:

- Визначення структури геоданих;
- Вибір формату та системи координат;
- Створення просторових шарів;
- Наповнення бази даних;
- Налаштування атрибутивних таблиць;
- Забезпечення якості та узгодженості даних;
- Оптимізація та налаштування доступу.

На першому етапі встановлюють, які саме дані будуть зберігатися у базі.

Для цього визначають:

- типи об'єктів (точки, лінії, полігони);
- їхні просторові характеристики (координати, межі, площі);
- описові (атрибутивні) дані - назва, категорія, стан, дата оновлення тощо;
- взаємозв'язки між об'єктами (ієрархія, підпорядкування, типологія).

Це дозволяє сформувати логічну модель даних.

Для коректної роботи всі дані мають бути приведені до єдиного формату (Shapefile, GeoPackage, Geodatabase) та єдиної системи координат. Це усуває розбіжності між різними джерелами інформації.

Після чого на основі визначеної структури створюють:

- шари адміністративних меж;
- шари будівель та інфраструктури;

- шари доріг, інженерних мереж;
- шари пошкоджених або зруйнованих об'єктів тощо.

Кожен шар є окремою таблицею просторових об'єктів.

Після створення шарів вони заповнюються даними, такими як:

- матеріали дистанційного зондування (супутникові знімки, ортофотоплани);
- дані польових обстежень;
- відкриті державні реєстри;
- результати попередніх аналітичних робіт.

Дані геоприв'язуються, очищаються, перевіряються на точність. Для кожного шару створюють таблицю з параметрами об'єктів. Наприклад:

- для будівель: адреса, поверховість, функціональне призначення, ступінь пошкодження;
- для доріг: покриття, стан, дата обстеження.

Це забезпечує роботу з аналітичними запитами. Виконується:

- перевірка на дублікати;
- топологічний контроль (перетини, розриви, накладки);
- корекція неточностей;
- узгодження назв, кодів, класифікаторів.

Якісна база - ключ до точного аналізу. На завершальному етапі передбачають:

- оптимізацію структури БД для швидкої роботи;
- налаштування прав доступу (читання, редагування);
- організацію регулярного оновлення даних;
- створення резервних копій.

В таблиці 3.1 приведена структура нашої геоінформаційної системи.

Таблиця 3.1 - Структура проекту геоінформаційної системи моніторингу руйнувань на території міста Одеса.

№	Тип характеристики	Характеристика
1	Типи об'єктів	точкові, лінійні
2	Просторові характеристики	координати
3	Описові характеристики	тип об'єкта, адреса, рік руйнування, рівень руйнування, стан на 10.2025р.
4	Система координат	СК-63
5	Формат	.shp
6	Перелік шарів	Місця руйнувань, площі руйнувань, межа міста Одеса
7	Картографічна підоснова	ESRI image, OpenStreetMap
8	Атрибутивні дані	тип об'єкта, адреса, рік руйнування, рівень руйнування, стан на 10.2025р.

Розроблена структура ГІС, відображена у вигляді моделі даних, є логічно обґрунтованою та функціонально повною. Ключовим досягненням є інтеграція просторових даних з необхідними атрибутивними полями, які забезпечують аналітичні потреби. Наявність полів для фіксації «Типу об'єкта» та «Ступеня пошкодження» формує фундамент для проведення всіх подальших досліджень.

3.2. Формування просторових даних: точкові, лінійні та полігональні шари

Картографічною основою в нашій ГІС ми використовуємо цифрову карту OpenStreetMap. Це відкрита, глобальна, краудсорсингова картографічна платформа, метою якої є створення вільної та доступної для всіх цифрової карти світу. Завдяки вбудованому модулю QSM до програми Q-GIS ми маємо змогу імпортувати будь який геосервіс з обраною завчасно системою координат проекту (рис. 3.1).

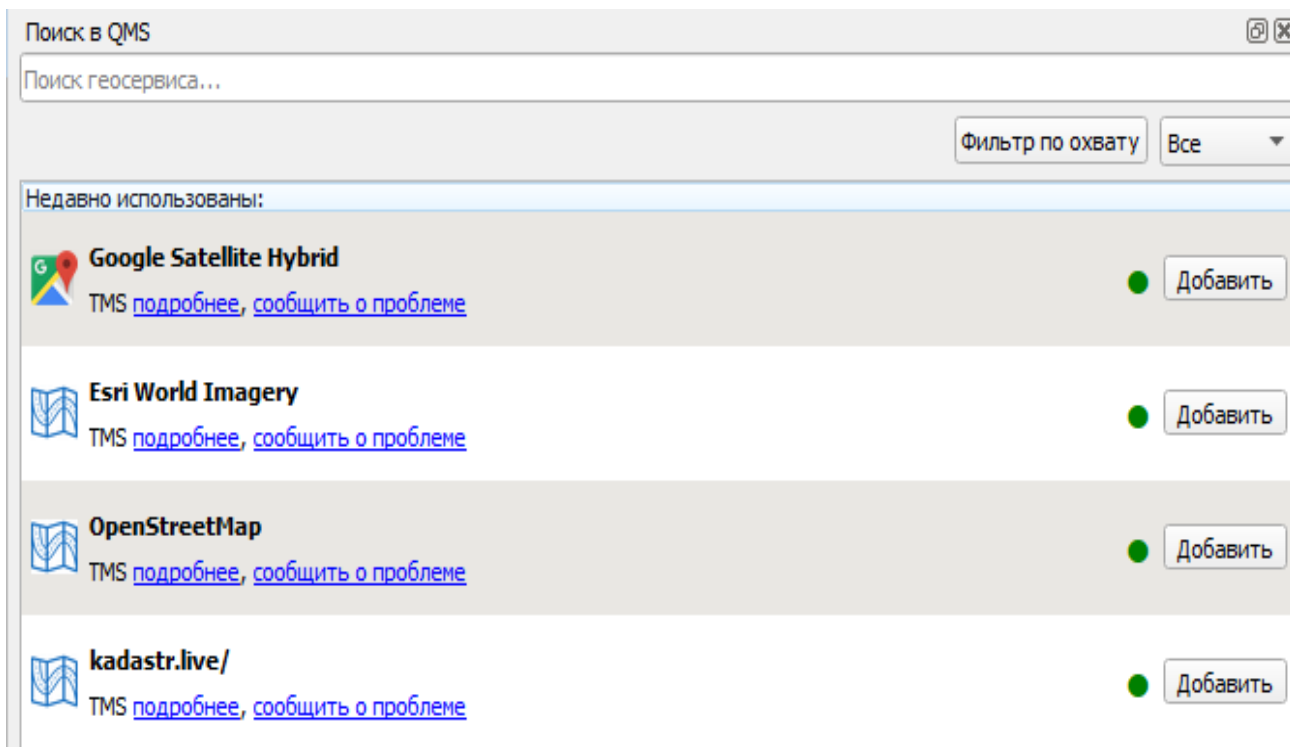


Рисунок 3.1 - Модуль QSM в програмному забезпеченні QGIS

Наступним кроком стало формування просторових даних, де кожен тип об'єктів представлено відповідним геометричним форматом. В нашому випадку точкові шари використовувалися для позначення місць руйнувань (рис. 3.2).

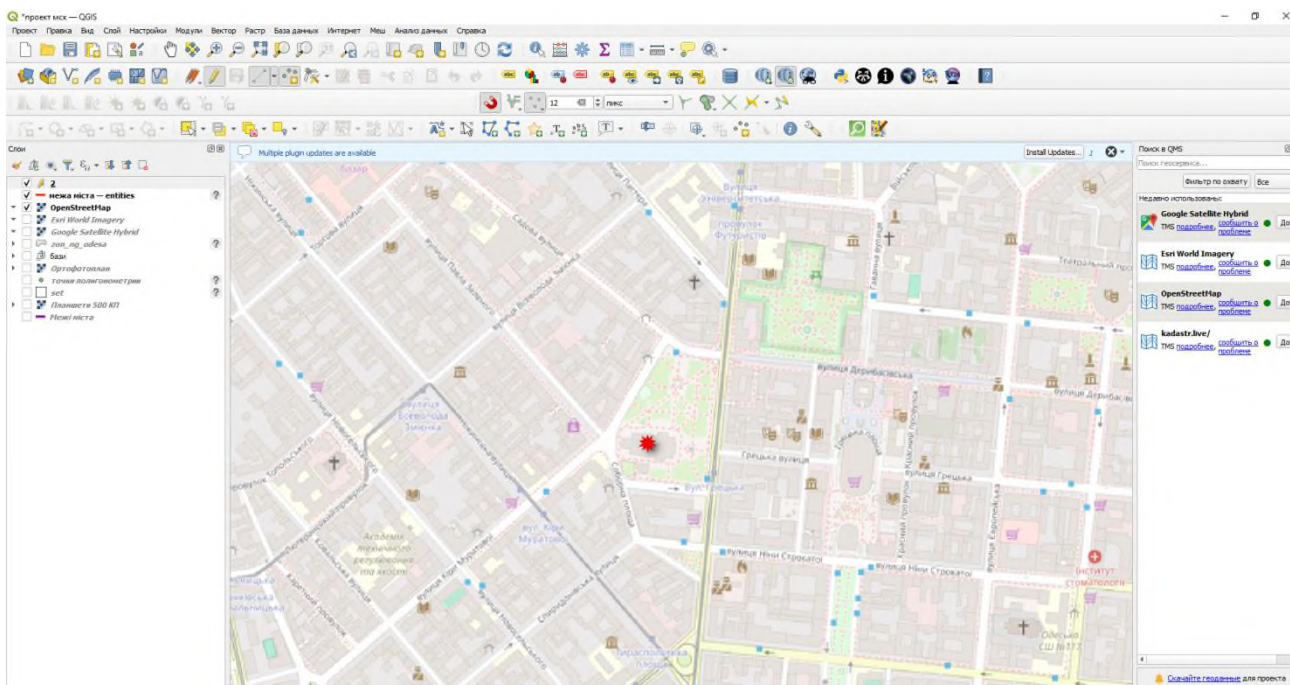


Рисунок 3.2 - Головний екран програмного забезпечення QGIS

Даний шар оформлений у вигляді простої символіки у формі «Зірки» червоного кольору (рис.3.3).

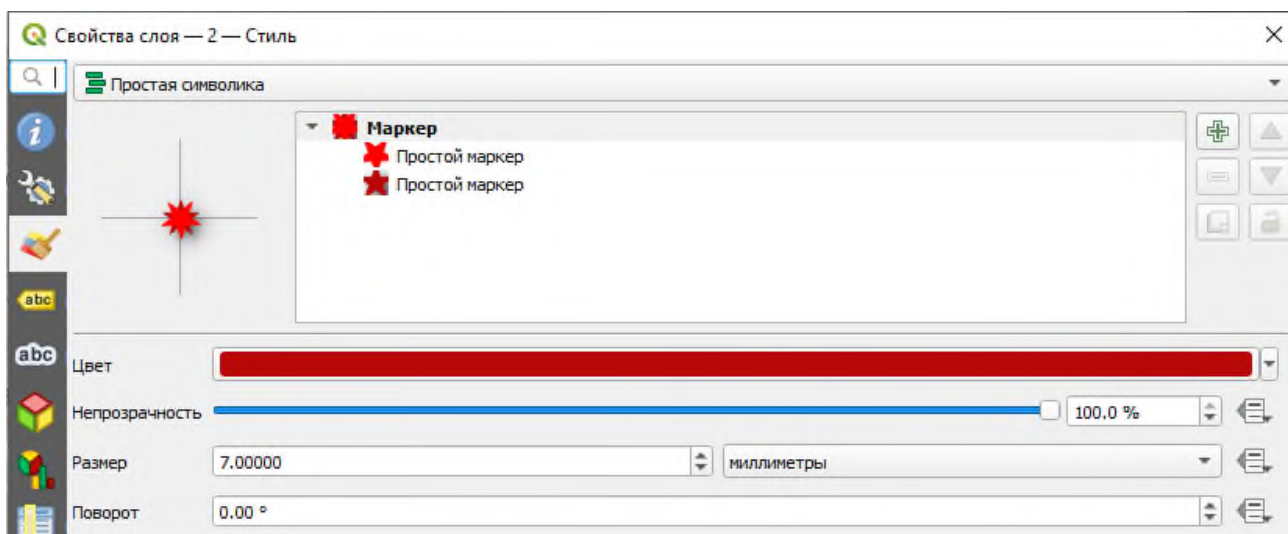


Рисунок 3.3 - Діалогове вікно «Властивості шару «Зруйновані об'єкти»» в програмному забезпеченні QGIS

В свою чергу лінійні шари застосовувалися для відображення межі міста Одеса (рис. 3.4)

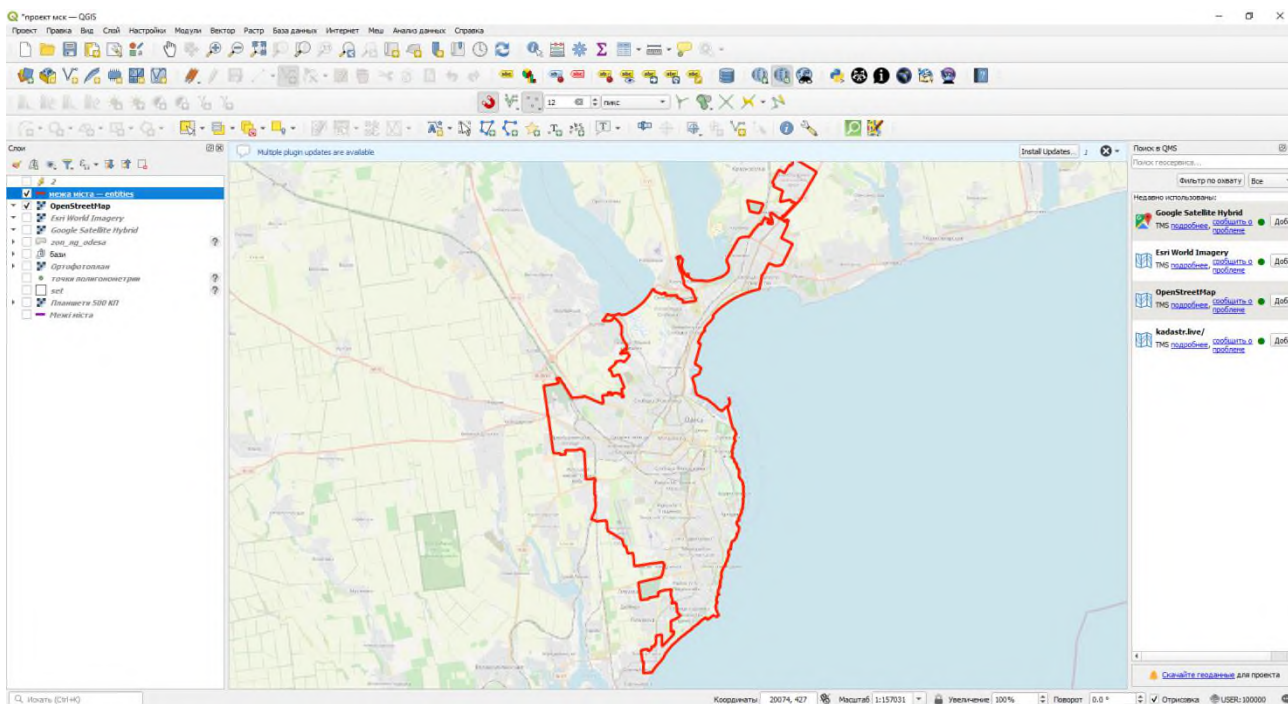


Рисунок 3.4 - Відображення шару «Межа міста» на картографічній основі OSM в програмному забезпеченні QGIS

Межа міста оформлена у вигляді червоної лінії.

Полігональні шари слугували для відтворення орієнтовних площ які зазнали руйнувань (рис. 3.5).

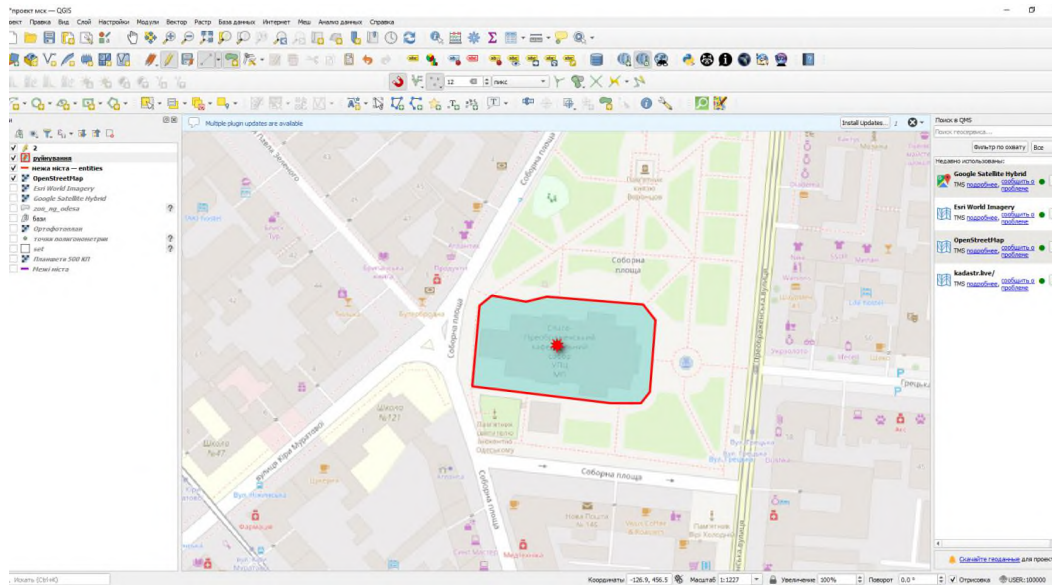


Рисунок 3.5 - Відображення шару «Площа зруйнованого об'єкта» в програмному забезпеченні QGIS

Площі руйнувань оформлені у вигляді полігонів червоного кольору з напівпрозорою заливкою (рис. 3.6).

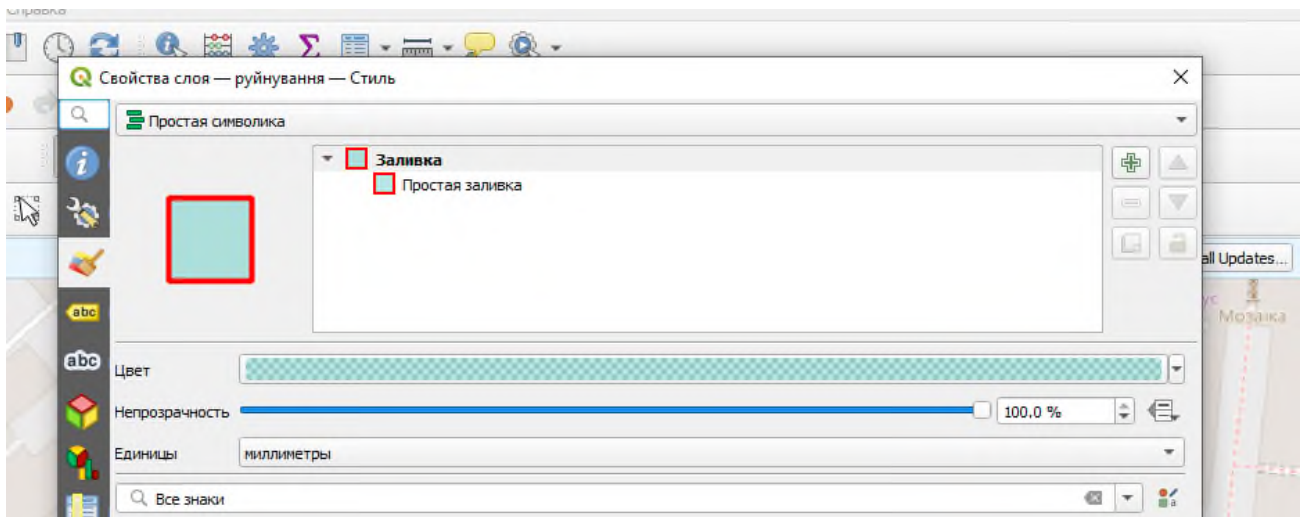


Рисунок 3.6 - Діалогове вікно «Властивості шару «Площа зруйнованого об'єкта»» в програмному забезпеченні QGIS

Шар «Місця руйнувань» доповнено атрибутивними характеристиками, такими як: тип об'єкта, адреса, рік руйнування, рівень руйнування, станом на жовтень 2025р. (рис. 3.7).

Q 2 - Features Total: 1, Filtered: 1, Selected: 0

127 id 127 id

Об'єкти вогн Об'єкти вибухонебезпечні

id	A	B	C	D	E
	№	Тип об'єкта	Адреса	Рік	Тип пошкодження
1	1	Житловий будинок	вул. Канатна	2022	Часткове руйнування
2	2	Адміністративна будівля	вул. Дерибасівська	2023	Повне руйнування
3	3	Школа	вул. Преображенська	2024	Пошкодження фасаду
4	4	Дитячий садок	вул. Генуезька	2025	Пошкодження даху
5	5	Лікарня	вул. Академіка Філатова	2022	Пожежа після удару
6	6	Інфраструктурний об'єкт	вул. Балківська	2023	Часткове руйнування
7	7	Торговельний центр	вул. Сегедська	2024	Повне руйнування
8	8	Складське приміщення	вул. Люстдорфська дорога	2025	Пошкодження фасаду
9	9	Промисловий об'єкт	вул. Чорноморського козацтва	2022	Пошкодження даху
10	10	Об'єкт культурної спадщини	вул. Маразлійська	2023	Пожежа після удару
11	11	Житловий будинок	вул. Пушкінська	2024	Часткове руйнування
12	12	Адміністративна будівля	вул. Велика Арнаутська	2025	Повне руйнування
13	13	Школа	вул. Мала Арнаутська	2022	Пошкодження фасаду
14	14	Дитячий садок	вул. Рішельєвська	2023	Пошкодження даху
15	15	Лікарня	вул. Єврейська	2024	Пожежа після удару

Рисунок 3.7 - Діалогове вікно «Атрибутивні дані» в програмному забезпеченні QGIS

Також за власною методикою додаємо в систему категорії пошкоджень об'єкта. Ми виділяємо три таких категорії.

I категорія пошкоджень - передбачає виконання робіт з відновлення, включаючи капітальний ремонт. Характеризується наявністю незначних пошкоджень несучих та огорожувальних конструкцій без порушення вимог щодо механічного опору та стійкості за граничними станами першої та другої груп.

II категорія пошкоджень - передбачає проведення робіт з відновлення, капітального ремонту або реконструкції. Відзначається пошкодженнями несучих та огорожувальних конструкцій, ступінь та характер яких потребують часткового аварійного демонтажу окремих елементів об'єкта або конструкцій, а також їхнього підсилення для відновлення несучої здатності та стійкості.

III категорія пошкоджень - передбачає проведення невідкладних робіт з демонтажу або ліквідації об'єкта. До цієї категорії належать будівлі та споруди, які повністю втратили придатність для використання за цільовим призначенням і економічну цінність, мають серйозні пошкодження несучих та

огороджувальних конструкцій, що створює високий ризик аварійного обвалення.

Такий підхід гарантує уніфікацію оцінки стану будівель і споруд, що особливо важливо при обробці великої кількості об'єктів. Методика дозволяє визначати пріоритети у відновлювальних роботах, що дає змогу оперативно реагувати на критичні випадки та планувати роботи для об'єктів, які можуть бути відновлені без термінових заходів. Зокрема, об'єкти III категорії підлягають невідкладному демонтажу, що зменшує ризик аварійного обвалення та забезпечує безпеку для населення.

У цьому підрозділі сформовано базові просторові дані, необхідні для функціонування ГІС руйнувань міської інфраструктури. Використання картографічної основи OpenStreetMap та інструментів Q-GIS забезпечило коректне завантаження й організацію геоданих у вигляді точкових, лінійних та полігональних шарів. Така структура дозволяє детально відображати місця руйнувань, межі міста та площі уражених територій, а застосована символізація забезпечує їх наочність на карті.

Створення атрибутивної таблиці з ключовими характеристиками об'єктів та впровадження власної трирівневої категоризації пошкоджень гарантує уніфіковану оцінку стану споруд. Це дозволяє ефективно сортувати об'єкти за ступенем небезпеки та визначати пріоритети у відновлювальних роботах. Загалом підрозділ формує міцну основу для подальшого аналізу, моніторингу та планування відновлення міської інфраструктури.

3.3 Аналіз отриманих результатів та рекомендації для їх використання

Після формування геоінформаційної бази даних та побудови тематичних карт, що відображають фактичні руйнування міської інфраструктури внаслідок військових дій, наступним етапом дослідження є проведення комплексного кількісного та якісного аналізу. Ці два типи аналізу дають змогу оцінити не лише масштаби руйнувань, а й просторові закономірності, структурні особливості та ступінь вразливості різних елементів міського середовища.

Кількісний аналіз ґрунтується на числових показниках, отриманих у ході ГІС-обробки просторових даних. Він дозволяє визначити:

- Загальну кількість пошкоджених об'єктів;
- Розподіл руйнувань за типами об'єктів;
- Оцінка ступеню пошкоджень;
- Просторово-статистичні показники.

В свою чергу якісний аналіз дозволяє визначити:

- Пріоритети відновлення;
- Виявлення закономірностей.

В нашому випадку зібрано інформацію про 50 пошкоджених об'єктів. На рисунку 3.8 представлена діаграма розподілу руйнувань за типами об'єктів.



Рисунок 3.8 - Розподіл руйнувань за типами об'єктів

З рисунку бачимо, що майже половина зафіксованих пошкоджень припадає на адміністративну забудову. Такі пошкодження призводить до порушення роботи органів управління, комунальних служб та логістичних структур, що має критичні наслідки для функціонування міського середовища. Друге місце за рівнем руйнувань займають землі промисловості, що тягне за собою економічні втрати. Найменше пошкоджених об'єктів житлового фонду. Хоча відсоток порівняно невисокий, руйнування житлового сектору мають безпосередній вплив на населення. В додатку Б відображений розподіл пошкоджень за об'єктами - Адміністративно-територіальний розподіл наслідків руйнувань інфраструктури м. Одеса.

На рисунку 3.9 відображений кількісний показник руйнувань за районами міста.

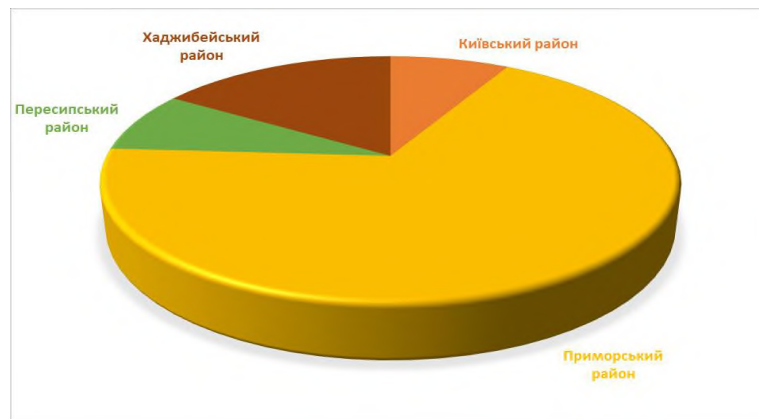


Рисунок 3.9 - Розподіл руйнувань за районами міста Одеса

Як видно з результатів аналізу, максимальна частка зруйнованих об'єктів зосереджена в межах Приморського району. Це свідчить про найвищий пріоритет саме цієї території щодо невідкладного проведення відновлювальних робіт та детальної оцінки технічного стану будівельного фонду.

Друге місце за обсягом зафіксованих пошкоджень займає Київський район. Незважаючи на те, що його показник суттєво нижчий за лідируючий, загальна частка залишається значущою. Характер руйнувань у даному районі має точкове розташування.

Хаджибейський район характеризується найменшим відсотком ушкоджених об'єктів, що вказує на обмежену їхню кількість. Однак навіть локальні, точкові руйнування можуть мати серйозний негативний вплив на окремі житлові масиви або промислові зони.

Візуалізація просторового розподілу зруйнованих об'єктів за адміністративними районами міста представлена у Додатку В - Ступінь пошкодження об'єктів інфраструктури м. Одеса.

На рисунку 3.10 продемонстрований розподіл за ступенем пошкодженості.

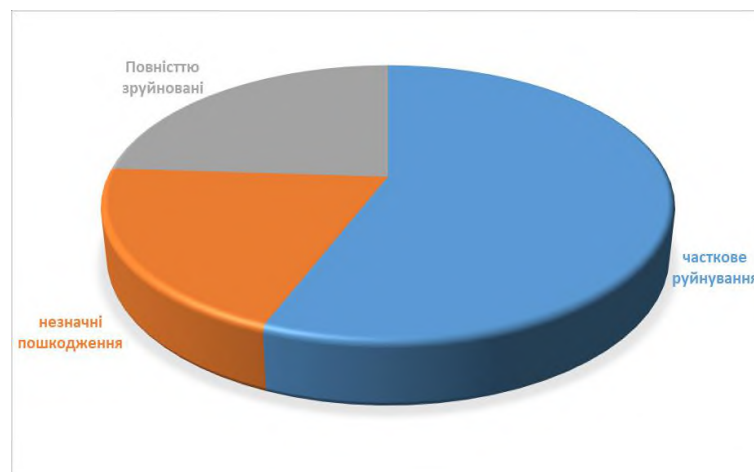


Рисунок 3.10 - Розподіл за ступенем пошкодженості об'єктів м. Одеса

Найбільшу категорію становлять об'єкти, що зазнали часткового руйнування. Дана категорія є критично важливою, оскільки вона охоплює масив об'єктів, що можуть бути відновлені, але водночас становлять потенційну небезпеку при експлуатації. Висока частка незначних пошкоджень свідчить про те, що значна частина міської інфраструктури зберегла експлуатаційну придатність та може бути відновлена з меншими матеріальними затратами. Незважаючи на відносно невелику частку повністю зруйнованих об'єктів формує найбільш масштабні економічні втрати. В додатку Г відображені об'єкти за типами пошкоджень - Типологічний розподіл уражених об'єктів інфраструктури м. Одеса.

За результатами кількісного аналізу ми склали пріоритетні кроки відновлення (рис. 3.11).

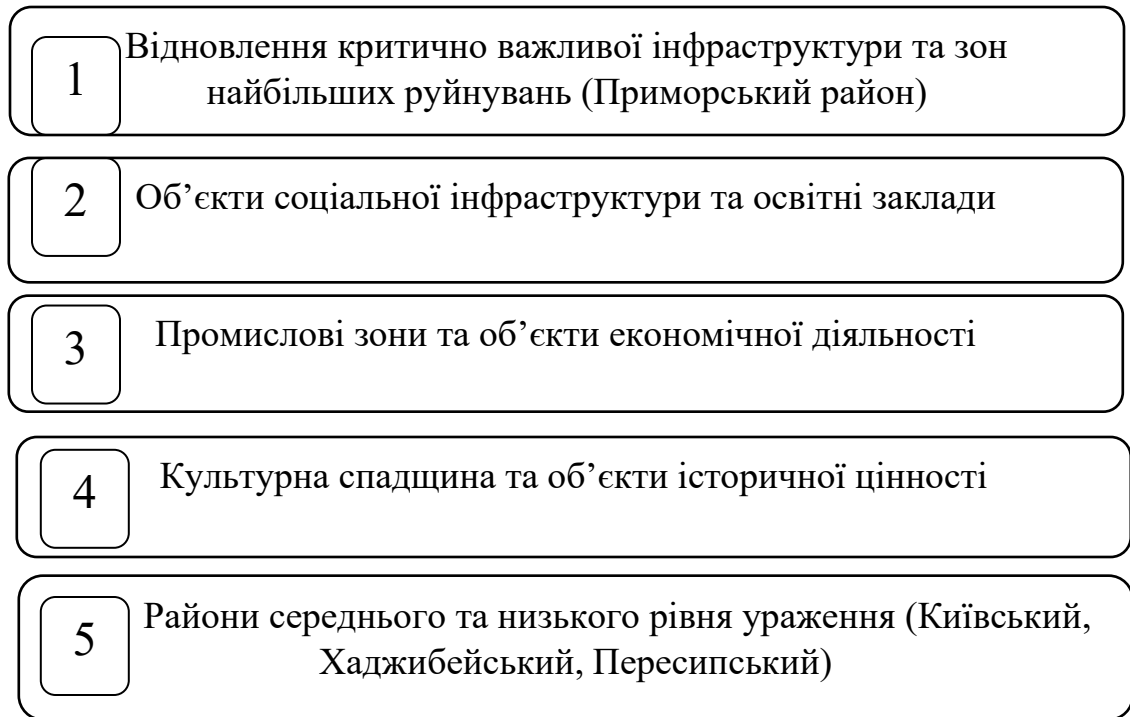


Рисунок. 3.11 - Пріоритети відновлення зруйнованих об'єктів

Якісний аналіз свідчить, що пріоритети відновлення міської інфраструктури повинні ґрунтуватися на поєднанні таких ключових факторів: просторової інтенсивності руйнувань, функціональної значущості об'єктів ступеня пошкодженості. Такий підхід дозволяє оптимально розподілити ресурси, зменшити ризики та забезпечити поетапне відновлення міської інфраструктури відповідно до її пріоритетності.

На основі проведеного аналізу та результатів моделювання можна сформулювати систему практичних рекомендацій, структуровану за рівнями та пріоритетами впровадження.

1. Рекомендації для органів місцевого самоврядування та планування:
 - Інституціоналізація ГІС-підходу.

Впровадити розроблену геоінформаційну систему як офіційний інструмент для обґрунтування рішень у сфері містобудування, рекультивації територій та управління кризовими ситуаціями.

- Встановлення системи постійного моніторингу.

Створити оперативну службу моніторингу стану інфраструктури з використанням інтегрованих даних дистанційного зондування Землі (ДЗЗ), даних БПЛА та польових обстежень для своєчасного виявлення динаміки руйнувань та деформацій.

2. Стратегічні рекомендації для післявоєнного відновлення.

На основі виявлених закономірностей (просторовий розподіл, тип об'єктів, ступінь пошкоджень) необхідно реалізувати багатофакторну пріоритетну модель відновлення. Пріоритетні рівні та критерії відновлення міської інфраструктури представлені у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1. Стратифікована (багаторівнева) модель пріоритетів відновлення інфраструктури м. Одеса

Пріоритетний рівень	Критерії вибору (що відновлювати)	Просторовий фокус	Ключові дії
Рівень 1: Невідкладні заходи	Об'єкти III категорії пошкоджень (аварійний стан, ризик обвалення).	Усі райони, зони щільної забудови	Невідкладний демонтаж, ліквідація завалів, інженерне закріплення.
Рівень 2: Критична інфраструктура	Ключові адміністративні будівлі (38%), об'єкти управління, транспортно-логістичні вузли, головні інженерні мережі.	Приморський район (як зона максимальної концентрації)	Пріоритетна реконструкція та відновлення функціональності систем життєзабезпечення міста.

Рівень 3: Соціальна та економічна база	Промислові зони (22%), навчальні заклади (20%), об'єкти охорони здоров'я.	Київський, Хаджибейський райони	Відновлення економічного потенціалу та соціальних сервісів для стабілізації життя міста.
Рівень 4: Житловий фонд та культурна спадщина	Житлові будинки, об'єкти культурної спадщини (часткові руйнування - основна маса).	Усі райони, точковий підхід	Комплексна реконструкція та капітальний ремонт з дотриманням принципів історичної автентичності де необхідно.

3. Рекомендації щодо технологічного розвитку та міжнародної співпраці.

- Технологічна модернізація. Запровадити методи машинного навчання та штучного інтелекту (ШІ) для автоматизованої класифікації руйнувань на знімках ДЗЗ, прогнозування ризиків та оптимізації логістики відновлювальних робіт.

- Залучення ресурсів. Активно розвивати міжнародну співпрацю для залучення технічної допомоги, фінансування та обміну найкращими практиками в галузі ГІС-моделювання та посткризового відновлення міст.

Впровадження геоінформаційних технологій є критичним інструментом для переходу від реактивного ліквідування наслідків до проактивного, стратегічного планування відновлення. Запропонована схема рекомендацій, що ґрунтується на об'єктивних даних ГІС-аналізу, дозволяє місцевим органам влади оптимізувати ресурси, визначити чіткі пріоритети та забезпечити комплексний, зональний та поетапний підхід до відбудови міської інфраструктури Одеси.

У даному розділі здійснено практичну реалізацію геоінформаційної системи (ГІС) для інвентаризації, аналізу та візуалізації руйнувань

інфраструктури м. Одеса, що сформувало завершену методологію від збору даних до отримання аналітичних результатів.

Розроблено та впроваджено структуровану архітектуру ГІС-проєкту у відкритому програмному середовищі QGIS. Було обґрунтовано вибір даного програмного забезпечення через його доступність, функціональність для роботи з різнотипними даними (векторними, растровими, атрибутивними) та наявність потужних аналітичних інструментів. Визначено логічну модель даних, що включає:

- Типи геометричних об'єктів - точкові (місця руйнувань), лінійні (межа міста) та полігональні (площі пошкоджень);
- Систему координат СК-63 та формат Shapefile (.shp) для забезпечення узгодженості;
- Комплекс атрибутивних даних: тип об'єкта, адреса, рік руйнування, рівень руйнування, стан на дату обстеження;
- Картографічну основу - сервіси ESRI Imagery та OpenStreetMap.

Ця структура забезпечила створення стандартизованої, масштабованої бази геоданих, придатної для комплексного аналізу. Сформовано повноцінні просторові шари та впроваджено уніфіковану методику категоризації. На основі картографічної основи OpenStreetMap створено три ключові шари з відповідною символізацією. Особливу цінність становить розробка та застосування власної трирівневої класифікації ступеня пошкоджень:

- I категорія - незначні пошкодження, що вимагають капітального ремонту.
- II категорія - пошкодження, що потребують часткового демонтажу, підсилення конструкцій або реконструкції.
- III категорія - повна втрата придатності, що вимагає невідкладного демонтажу з метою запобігання обвалення.

Ця методика дозволила перейти від описового фіксування до кількісної та якісної оцінки, що є фундаментом для визначення пріоритетів відновлення.

Проведено комплексний кількісно-якісний аналіз отриманих результатів, який виявив чіткі просторові та структурні закономірності:

- За територіальним розподілом. Максимальна концентрація руйнувань (переважна більшість) виявлена в Приморському районі, що зумовлює його найвищий пріоритет для відновлення. Київський район посідає друге місце з точковим характером пошкоджень, а Хаджибейський - третє з мінімальною, але локально значущою часткою.

- За функціональним типом об'єктів. Найбільше постраждали адміністративні будівлі (38%) та промислові об'єкти/землі (22%), що свідчить про цілеспрямований вплив на системи управління та економічний потенціал. Значну частку також складають навчальні заклади (20%), об'єкти культурної спадщини та житловий фонд.

- За ступенем пошкодженості. Переважають об'єкти з частковим руйнуванням, що вказує на потенційну можливість їх відновлення. Однак наявність об'єктів з повним руйнуванням формує зони, що потребують повної реконструкції.

На основі проведеного аналізу сформовано практичні рекомендації та пріоритетну модель відновлення. Запропоновано багатофакторний підхід, що враховує інтенсивність руйнувань, функціональну значущість об'єкта та ступінь його пошкодженості. Стратегія передбачає послідовність дій:

1. Невідкладний демонтаж аварійних об'єктів (III категорія).
2. Відновлення критичної інфраструктури в Приморському районі.
3. Реконструкція ключових адміністративних та промислових об'єктів.
4. Відновлення соціальної інфраструктури (навчальні заклади, житло).

Для місцевих органів влади рекомендовано інституціалізувати розроблену ГІС як інструмент для моніторингу, планування відновлення та прийняття

управлінських рішень, а також розглянути можливості інтеграції з технологіями ІІІ для автоматизації аналізу. Отже, у розділі не лише створено функціональну геоінформаційну систему, але й отримано об'єктивну аналітичну картину наслідків, що становить науково-практичну основу для формування цілеспрямованої програми відновлення міської інфраструктури Одеси.

ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ

У кваліфікаційній роботі на тему «Використання ГІС-технологій при оцінюванні руйнувань міської інфраструктури міста Одеси» отримано комплексні теоретичні та практичні результати, що доводять ефективність геоінформаційного підходу для посткризового моніторингу та планування відновлення.

Теоретично-методологічною основою роботи став аналіз сучасних світових практик, який засвідчив, що ефективний моніторинг руйнувань ґрунтується на інтеграції супутникових даних різної роздільної здатності, стандартизованих методик оцінки та ГІС-платформ, що поєднують оперативне реагування з аналітико-прогнозним моделюванням. Встановлено, що національна нормативна база створює передумови для такого підходу, проте існує суттєвий розрив між законодавчими засадами та їх практичною реалізацією через фрагментованість інформаційних систем.

Проведена всебічна оцінка території м. Одеса, що виявило унікальний комплекс природних (зсувні процеси, абразія) та антропогенних (концентрація критичної інфраструктури, складний житловий фонд) чинників підвищеної вразливості. Сформовано та апробовано методику побудови верифікованої геоінформаційної бази даних, яка базується на триєдності джерел: дистанційного зондування (супутникові знімки, дані БПЛА), офіційних реєстрів та відкритих ресурсів, та обов'язкових польових обстежень для фінальної валідації. Це дозволило сформувати достовірний масив даних про 50 пошкоджених об'єктів.

Ключовим практичним результатом є розроблена та впроваджена в середовищі QGIS геоінформаційна система моніторингу руйнувань. Науковою новизною системи є розроблена трирівнева класифікація ступеня пошкоджень (від капітального ремонту до невідкладного демонтажу), що перевела оцінку з рівня опису на рівень кількісного та якісного аналізу.

Результати ГІС-аналізу виявили чіткі закономірності: просторова концентрація (абсолютна більшість руйнувань (переважна частка) зосереджена в Приморському районі, що зумовлює його найвищий пріоритет); функціональний розподіл (найбільше постраждали адміністративні будівлі (38%) та промислові об'єкти/землі (22%), що свідчить про цілеспрямований вплив на системи управління та економіку міста); ступінь пошкоджень (переважають часткові руйнування, що залишає можливість відновлення шляхом реконструкції, а не повної перебудови).

На основі цього аналізу сформована стратифікована модель пріоритетів відновлення, що є практичним інструментом для оптимального розподілу ресурсів.

Таким чином, основним результатом роботи є створена інтегрована геоінформаційна система, яка поєднує:

- Верифіковану базу даних про руйнування інфраструктури Одеси.
- Уніфіковану методику їх класифікації за ступенем пошкоджень.
- Інструментарій для виявлення просторово-функціональних закономірностей.
- Науково обґрунтовану модель пріоритетів для планування відновлення.

Ця система доводить, що ГІС-підхід є критично необхідним для переходу від реактивної ліквідації наслідків до проактивного, стратегічного управління процесом відбудови міста.

На основі отриманих результатів сформульовано наступні пропозиції, структуровані за рівнями впровадження:

1. Для органів місцевого самоврядування та планування відновлення м. Одеси:

Інституціалізувати розроблену ГІС шляхом її передачі та інтеграції в роботу структур, відповідальних за відбудову (наприклад, Департамент

містобудування, штаб з відновлення). Система має стати основним інструментом для ведення реєстру пошкоджень, моніторингу прогресу відновлювальних робіт та формування звітності.

Прийняти та затвердити запропоновану трирівневу класифікацію ступеня пошкоджень як стандарт для оцінки стану об'єктів інфраструктури в місті. Це забезпечить уніфікацію даних та прозорість у визначенні пріоритетів.

Реалізувати стратифіковану модель пріоритетів при формуванні міської цільової програми відновлення, зосередивши першочергові ресурси на: невідкладному демонтажі аварійних об'єктів (III категорія); відновленні критичної інфраструктури (адміністративної, логістичної) в Приморському районі; реконструкції ключових об'єктів соціальної сфери (навчальні заклади, лікарні).

2. Для розвитку національної системи моніторингу та НІГД:

Розробити та запровадити стандартизований протокол обміну даними між ДСНС, органами місцевої влади та іншими зацікавленими відомствами на основі досвіду побудови верифікованої бази даних (ДЗЗ + офіційні реєстри + польові дані).

Активізувати роботу з наповнення та оновлення Національної інфраструктури геопросторових даних (НІГД) відомчими наборами даних про інфраструктуру та її стан, усуваючи виявлений розрив між нормою та практикою.

Розглянути можливість створення на базі ДСНС або іншого профільного органу оперативного ГІС-центру з моніторингу наслідків надзвичайних ситуацій за зразком Copernicus EMS, з можливістю швидкого картографування (Rapid Mapping).

3. Для подальших наукових та прикладних досліджень:

Розширити функціонал розробленої ГІС шляхом інтеграції модулів для аналізу економічних втрат на основі атрибутивних даних (вартість об'єкта, функція) та моделювання різних сценаріїв відновлення.

Впровадити методи машинного навчання та комп'ютерного зору для автоматизованої класифікації руйнувань на супутникових знімках та знімках БПЛА, що значно прискорить процес первинної оцінки на великих територіях.

Адаптувати розроблену методику та архітектуру ГІС для моніторингу наслідків надзвичайних ситуацій в інших містах та регіонах України, враховуючи їх специфіку.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Mueller H., Groeger A., Hersh J. Monitoring War Destruction from Space Using Machine Learning : Working Paper n 1257. Barcelona, 2021. 50 с.
2. OpenStreetMap Standard: вільний веб-картографічний сервіс. URL: [Openstreetmap.org](https://openstreetmap.org) (дата звернення 10.03.2024).
3. Xu H. Remote sensing through the fog of war: Infrastructure damage and environmental change during the Russian-Ukrainian conflict revealed by open-access data. *Natural Hazards Research*. 2024. Vol. 4. С. 1-7.
4. Бурачек О.О., Зацерковний В. Г., Железняк А.О., Терещенко А.О. Геоінформаційні системи і бази даних : монографія. Ніжин : НДУ ім. М. Гоголя, 2014. 492 с.
5. Важинський С. Е. Система моніторингу техногенної безпеки регіону з використанням геоінформаційних технологій. *Системи обробки інформації*. 2014. №. 5(120). С. 40-44.
6. Говоров М., Лященко А.А., Кейк Д, Зендберген П., Молочко М.А. Геоінформаційні технології та інфраструктура геопросторових даних : нав. посіб. Київ : Планета-Прінт, 2017. 532 с.
7. ДБН Б.2.2-12:2019 Планування і забудова територій. URL: <https://e-construction.gov.ua/files-token/50abcdf1619135030606fb7cd78e4ff6> (дата звернення 10.09.2025р.).
8. ДБН Б.2.2-5-2011 Благоустрій територій. URL: <https://e-construction.gov.ua/files-token/1e2a95d9f61be9b677305360a9a91b15> (дата звернення 10.09.2025р.).
9. ДСТУ ISO 19101:2009. Видання. Географічна інформація/геоматика. *Еталонна модель*. Київ: Держспоживстандарт України, 2011. 37с.
10. Класифікатор надзвичайних ситуацій ДК 019:2010 : Наказ Держспоживстандарту України 11.10.2010р. № 457.

11. Конституція України, від 28.06.1996 № 254к/96-ВР із змінами.
12. Ліпінський В.М. Клімат України. Київ, 2003. 342 с.
13. Питання Державного департаменту страхового фонду документації : Постанова Кабінету Міністрів України від 28.06.2000р. № 1023.
14. Погурельська Т.В. Одеська область. Географічний атлас: *Моя мала Батьківщина* . Київ, 2000. 20с.
15. Прачик В. В. Розроблення інформаційної системи моніторингу природних катастроф з використанням об'єктно-орієнтованої методології та технології Java SE 11. *Вчені записки ТНУ імені В. І. Вернадського*. Серія: Технічні науки. 2021. Том 32 (71), № 4. С. 143-148
16. Про перейменування районів міста Одеси : Рішення Одеської міської ради від 03.05.2023р. № 1198-VIII. URL: <https://omr.gov.ua/ua/acts/council/197654> (дата звернення 10.09.2025р.).
17. Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо планування використання земель: Закон України від 17 червня 2020 року № 711-IX. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/711-20#Text> (дата звернення 10.09.2025).
18. Про Генеральну схему планування території України: Закон України від 07.02.2002 № 3059-III. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3059-14#Text> (дата звернення 10.09.2025р.).
19. Про Державний земельний кадастр: Закон України від 07.07.2011 № 3613-VI. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3613-17#Text> (дата звернення 09.09.2025р.).
20. Про доступ до публічної інформації: Закон України від 13.01.2011 № 2939- VI. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2939-17#Text> (дата звернення 09.09.2025р.).
21. Про затвердження Положення про Державну службу України з надзвичайних ситуацій : Постанова Кабінету Міністрів України від 16.12.2015р.

№1052. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1052-2015-%D0%BF#Text> (дата звернення 08.11.25р.).

22. Про затвердження Порядку класифікації надзвичайних ситуацій за їх рівнями : Постанова Кабінету Міністрів України від 24.03.2004р. № 368. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/368-2004-%D0%BF#Text> (дата звернення 25.10.2025р.).

23. Про затвердження Порядку функціонування національної інфраструктури геопросторових даних: постанова Кабінету Міністрів від 26 травня 2021 за № 532. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/532-2021-%D0%BF#Text> (дата звернення 15.10.2025р.).

24. Про затвердження технічних вимог до геопросторових даних, метаданих і геоінформаційних сервісів національної інфраструктури геопросторових даних: Наказ Міністерства аграрної політики та продовольства України від 10 листопада 2021 року № 347. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0021-22/card5> (дата звернення 30.10.2025р.).

25. Про національну інфраструктуру геопросторових даних: Закон України від 13.04.2020 №554-IX. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/554-20#Text> (дата звернення 23.10.2025р.). URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2807-20#Text> (дата звернення 24.10.2025р.).

26. Про Національну програму інформатизації: Закон України від 01.12.2022 № 2807-IX. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2807-20#Text> (дата звернення 24.10.2025р.).

27. Про охорону земель: Закон України від 19.06.2003 № 962-IV.

28. Про охорону навколишнього природного середовища: Закон України від 25.06.1991 № 1264-XII. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/962-15#Text> (дата звернення 11.09.2025р.).

29. Про регулювання містобудівної діяльності: Закон України від 17.02.2011 № 3038-VI URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3038-17#Text> (дата звернення 11.09.2025р.).

30. Про стандартизацію: Закон України від 05.06.2014 № 1315-VII. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1315-18#Text> (дата звернення 16.10.2025р.).

31. Про утворення Ради з національної інфраструктури геопросторових даних: Постанова Кабінету Міністрів України від 9 вересня 2020 за № 812. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/812-2020-%D0%BF> (дата звернення 24.09.2025р.).

32. Програма автоматизованої векторизації картографічних матеріалів MapEdit для Windows : навч. посіб. /за ред.: Резидент. Київ, 1997. 98 с.

33. Серьогін Д. С. Геоінформаційне моделювання та аналіз регіональних сегментів глобального урбанізованого простору (на прикладах різнорангових міст) : дис. ... д-ра філософії : 103. Харків. нац. ун-т ім. В. Н. Каразіна. Харків, 2024. 289 с.

34. Соколовський В.В. Алгоритмічне та програмне забезпечення регіональної системи моніторингу стану потенційно небезпечних об'єктів : дис. ... д-ра філософії. 121. Київ. 2025, 316 с.

35. Халугін Е.И., Жалковський Е.А., Жданов Н.Д. Цифрові карти : навч. посіб. / за ред.: Е.И. Халугіна. Недра, 1992. 419 с.