

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
імені В.Н. КАРАЗІНА**

Факультет геології, географії, рекреації і туризму

Кафедра фізичної географії та картографії

До захисту допустити
Зав. кафедри _____ доцент **Анатолій БАЙНАЗАРОВ**
«_____» _____ 2025 р.

**ГЕОПРОСТОРОВИЙ АНАЛІЗ ВПЛИВУ ВОЄННИХ ДІЙ НА
ЛАНДШАФТИ САЛТІВСЬКОГО РАЙОНУ МІСТА ХАРКІВ**

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТРА

Виконав: студентка 2-го курсу д.ф.з.о.,
групи ГГ - 21
спеціальність: 106 Географія
освітня програма: Географія
Софія Євгенівна ІВАНЕНКО
Науковий керівник:
доцент, к.геогр.н. **Борис ШУЛКА**

Кваліфікаційна робота захищена з оцінкою

Голова ЕК **Валентина РЕДІНА**

Секретар ЕК **Тетяна БУЛГАКОВА**
«_____» _____ 2025 р.

Харків – 2025

ЗМІСТ

ВСТУП	3
РОЗДІЛ 1. ГЕОГРАФІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕРИТОРІЇ ДОСЛІДЖЕННЯ	9
1.1. Фізико-географічні особливості міста Харків	9
1.2. Салтівський район: забудова та довоєнний стан ландшафтів	24
Висновки до розділу 1	33
РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНІ ТА МЕТОДИЧНІ ОСНОВИ ДОСЛІДЖЕННЯ	35
2.1. Підходи до оцінювання впливів воєнних дій на ландшафти та джерельна база	35
2.2. Джерела даних і підготовка даних: супутникові знімки, БПЛА, кадастрові та публічні реєстри, валідація	44
2.3. Методика геопросторового аналізу: індикатори змін, класифікація ушкоджень, оцінка точності	50
Висновки до розділу 2	57
РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ГЕОПРОСТОРОВОГО АНАЛІЗУ	58
3.1. Картографування та типізація ушкоджень ландшафтів: руйнування забудови, техногенні порушення, деградація рослинності	58
3.2. Просторові закономірності та осередки зосередження змін у взаємозв'язку з інфраструктурою й подіями обстрілів	66
3.3. Часова динаміка змін (2022-2025): порівняння до- і післявоєнних станів ...	81
Висновки до розділу 3	93
РОЗДІЛ 4. ПРАКТИЧНІ ЗАСТОСУВАННЯ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ	95
4.1. Інформаційно-аналітичне забезпечення першочергових заходів відновлення: оцінка обсягів руйнувань та поводження з відходами	95
4.2. Геоаналітичне обґрунтування відновлювальних рішень на рівні громади: визначення пріоритетів та етапності робіт	99
Висновки до розділу 4	101
ВИСНОВКИ	108
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	112
ДОДАТКИ	133
Додаток А	134

ВСТУП

Сучасний етап розвитку України як східноєвропейської держави характеризується викликами, пов'язаними з повномасштабною війною, яка спричинила докорінні трансформації в усіх сферах життєдіяльності українського суспільства та функціонування природно-антропогенних систем. Особливого руйнівного впливу зазнали урбанізовані території східних регіонів України, які опинилися в епіцентрі активних бойових дій та стали об'єктами систематичних атак. Специфіка даного дослідження полягає у фокусуванні на одному з найбільш постраждалих урбанізованих ландшафтів Європи XXI століття – Салтівському адміністративному районі міста Харкова.

Географічні межі роботи охоплюють адміністративну територію Салтівського району, включаючи його найбільш густонаселені житлові масиви (зокрема Північну Салтівку-1), зони рекреації, транспортні магістралі та промислово-комунальні зони. Вибір саме цієї території зумовлений її унікальною містобудівною структурою як найбільшого «спального» району України, її геостратегічним розташуванням на північно-східній околиці міста, що перетворило її на «форпост» оборони, та, як наслідок, критичним рівнем техногенного навантаження внаслідок обстрілів.

Хронологічні межі дослідження охоплюють період з 2021 по 2025 рік, що дозволяє реалізувати порівняльний підхід до аналізу змін. Нижньою часовою межею обрано 2021 рік, який виступає базовим етапом для фіксації довоєнного стану ландшафтів, їхньої морфологічної структури та екологічних параметрів. Період 2022 року розглядається як фаза гострого, шокового впливу, що характеризується максимальною інтенсивністю руйнувань внаслідок артилерійських та авіаційних ударів. Верхньою межею визначено 2025 рік, що дає змогу оцінити середньострокові наслідки воєнних дій, виявити процеси стабілізації, природної регенерації рослинного покриву або ж подальшої деградації території під впливом нових загроз (ракетних ударів та атак БПЛА).

Тема кваліфікаційної роботи магістра присвячена комплексному геопросторовому аналізу трансформацій, яких зазнав міський ландшафт під впливом мілітарних чинників. Урбанізоване середовище розглядається тут не просто як набір інженерних споруд, а як складна динамічна система, де руйнування одного елемента (наприклад, житлової забудови або інфраструктури водовідведення) запускає каскадні реакції змін у ґрунтовому покриві, мікрокліматі та біотичних компонентах. Особливий акцент у роботі зроблено на вивченні так званих «мілітарних ландшафтів» – новоутворених форм рельєфу (вирв, траншей) та техногенних пусток, що виникли на місці зруйнованих кварталів. Дослідження також охоплює проблематику поводження з відходами руйнувань, які стали новим, критичним фактором екологічного ризику для регіону.

Актуальність теми зумовлена нагальною потребою у документуванні та об'єктивній оцінці масштабів екологічних та інфраструктурних збитків, завданих міському середовищу Харкова. В умовах, коли фізичний доступ до багатьох ділянок є обмеженим через мінну небезпеку або загрозу повторних обстрілів, дистанційні методи дослідження стають безальтернативним інструментом моніторингу. Актуальність також посилюється необхідністю переходу від хаотичного розчищення завалів до науково обґрунтованого планування відновлення, яке враховує ступінь пошкодження, екологічні ризики та ресурсний потенціал відходів руйнувань. Розробка методології, що дозволяє швидко та точно класифікувати типи ушкоджень на великих площах, є критично важливою для формування стратегій післявоєнної ревіталізації не лише Харкова, а й інших постраждалих міст України. Окрім того, дослідження динаміки змін за 2022-2025 роки дозволяє зрозуміти, як саме екосистема міста адаптується до умов перманентного військового конфлікту, що має фундаментальне значення для сучасної урбаністики.

Метою роботи є виявлення просторово-часових закономірностей трансформації ландшафтів Салтівського району міста Харкова під впливом воєнних дій шляхом застосування методів геопросторового моделювання та

дистанційного зондування Землі для розробки обґрунтованих рекомендацій щодо відновлення території.

Об’єктом дослідження є ландшафти Салтівського району міста Харкова.

Предметом дослідження є процеси трансформації компонентів міського ландшафту (забудови, рослинності, ґрунтів) під впливом воєнних дій та методи їх геопросторового оцінювання і картографування.

Задачі дослідження, що впливають із поставленої мети, включають:

1. Охарактеризувати фізико-географічні особливості та містобудівну структуру Салтівського району як передумови формування його ландшафтів.
2. Проаналізувати теоретико-методичні підходи, обґрунтувати вибір геопросторових методів та здійснити підготовку і обробку масиву різночасових супутникових даних із розрахунком та верифікацією спектральних індексів.
3. Виявити основні типи ландшафтних ушкоджень (руйнування забудови, деградація рослинності, техногенні порушення) та встановити просторові закономірності їх розподілу й осередки найбільшої концентрації у взаємозв’язку з інфраструктурою.
4. Оцінити часову динаміку трансформацій ландшафту за період 2022-2025 років, виокремивши процеси руйнування, стабілізації та відновлення.
5. Розробити практичні рекомендації щодо інформаційно-аналітичного забезпечення відновлення району, зокрема в аспекті поводження з відходами руйнувань та пріоритизації робіт.

Теоретична база дослідження спирається на фундаментальні положення ландшафтознавства, екології та геоінформаційного картографування. У роботі використано підходи до оцінки впливу збройних конфліктів на довкілля, розроблені міжнародними інституціями (UNEP, UNOSAT) та адаптовані вітчизняними науковцями. Зокрема, дослідження базується на концепції «мілітарної деградації ґрунтів» (розробки ННЦ «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О. Н. Соколовського»), теорії стійкості екосистем та принципах циркулярної економіки («urban mining») у контексті поводження з відходами руйнувань. Також враховано сучасні напрацювання у сфері дистанційного

зондування Землі щодо використання спектральних індексів для моніторингу антропогенних змін.

Методи дослідження. Виконання поставлених у роботі завдань базується на використанні комплексного методологічного інструментарію. Застосування таких загальнонаукових методів, як узагальнення, порівняння, аналіз і синтез, дозволило опрацювати теоретичну базу та систематизувати наявні дані про стан досліджуваного району. Провідну роль у роботі відіграють *спеціальні геоінформаційні та дистанційні методи*:

- візуальне та автоматизоване дешифрування космічних знімків для ідентифікації об'єктів ураження;
- метод спектральних індексів (NDVI, NDBI, NBR) для кількісної оцінки стану рослинності, забудови та слідів пожеж;
- метод «Change Detection» (виявлення змін) для аналізу динаміки трансформацій у часових зрізах 2021-2022 та 2022-2025 років;
- картографічний метод для візуалізації просторового розподілу руйнувань та зонування території;
- метод OSINT (аналіз відкритих джерел) для верифікації супутникових даних та уточнення хронології подій.

Інформаційна база дослідження. Дослідження спирається на широке коло матеріалів. Головним джерелом геопросторових даних стали мультиспектральні знімки Sentinel-2 (в межах програми Copernicus) та зображення Google Earth Pro. Для верифікації функціонального призначення території використано векторні шари OpenStreetMap та Публічної кадастрової карти України. Інформаційне забезпечення також включає офіційні дані ДСНС та Харківської міської ради, аналітику від UNDP та UNOSAT, а також матеріали OSINT-ресурсів (ReUkraine, DeepState). Метеорологічні дані отримано з архіву «Meteomatics» та «meteoblue».

Наукова новизна одержаних результатів полягає у наступному:

- *Вперше* здійснено комплексний геопросторовий моніторинг трансформації ландшафтів Салтівського району, що охоплює часовий інтервал

від передвоєнного періоду та фази інтенсивних бойових дій до сучасного етапу (2021-2025 рр.). Застосування комбінації трьох спектральних індексів (NDVI, NDBI, NBR) дозволило виявити приховані екологічні наслідки, які не фіксуються при візуальному огляді.

- *Удосконалено* методику класифікації воєнних пошкоджень урбанізованих територій за супутниковими знімками середньої роздільної здатності шляхом інтеграції автоматизованого аналізу «Change Detection» з даними OSINT-верифікації, що дозволило мінімізувати помилки ідентифікації (розрізнення зон руйнувань та будівельних майданчиків).

- *Дістало подальшого розвитку* поняття «мілітарного ландшафту» стосовно житлових масивів та обґрунтування просторової моделі «травматичного ландшафту», яка враховує не лише фізичні руйнування, а й функціональну фрагментацію території та зміну патернів її використання населенням.

Публікації та апробація. За результатами проведеного дослідження опубліковано тези у фахових виданнях. Основні теоретичні та практичні положення роботи пройшли апробацію шляхом презентації доповідей на наукових заходах. Частково результати були апробовані в матеріалах Всеукраїнської науково-практичної інтернет-конференції «Екологічні виклики та інновації. Захист довкілля у сучасному світі» (м. Черкаси: НУЦЗ України, 2025) та збірнику наукових праць «Географічні дослідження: історія, сьогодення, перспективи» (за матеріалами щорічної наукової конференції студентів та аспірантів, присвяченої пам'яті професора Г. П. Дубинського, 10 квітня 2025 року, м. Харків). Випуск 17», а також у звітах з асистентської та науково-дослідницької практик.

Практична цінність роботи полягає у можливості застосування отриманих даних при розробці планів відбудови та реконструкції Харкова. Розроблена серія тематичних карт (пошкоджень забудови, зон пожеж, динаміки відновлення) може слугувати основою для прийняття управлінських рішень міською владою та комунальними службами. Запропонована модель оцінки

обсягів та морфологічного складу відходів руйнувань дозволяє оптимізувати логістику їх вивезення та переробки, впроваджуючи принципи ресайклінгу. Крім того, створена база геоданих може бути інтегрована у загальноміську геоінформаційну систему для подальшого моніторингу стану довкілля.

Структура та обсяг роботи. Дослідження побудовано за логічною структурою, що включає вступ, чотири розділи, загальні висновки, список використаних джерел та додатки. Повний обсяг роботи становить, включаючи ілюстративний матеріал та таблиці, які підтверджують отримані результати. У першому розділі розглянуто географічну характеристику території. У другому – викладено теоретико-методичні засади дослідження. Третій розділ присвячено результатам геопросторового аналізу та картографуванню змін. Четвертий розділ містить практичні рекомендації щодо відновлення району. Загальний обсяг роботи становить 134 сторінки, основний текст викладено на 110 сторінок. Робота містить 10 таблиць, 22 рисунки, 162 джерела та 1 додаток.

РОЗДІЛ 1.

ГЕОГРАФІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕРИТОРІЇ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1. Фізико-географічні особливості міста Харків

Харків, заснований в 1654 році, є великим адміністративним, індустріальним, транспортним, науково-культурним центром Харківської області. Місто розташоване на північному сході України, при злитті річок Лопань та Харків з річкою Уди, які відносяться до басейну Сіверського Дінця.

Адміністративний центр Харківської області знаходиться в лісостеповій природній зоні, в лівобережно-дніпровському краї, в його північно-західній лісостеповій провінції (Середньоруській лісостеповій та лівобережно-дніпровській лісостеповій) [26].

Місто Харків розташоване на межі двох ландшафтних зон – лісостепу і степу. Значна віддаленість від океанів і великих морів зумовлює континентальний характер його клімату. Водночас морські повітряні маси часто проникають у регіон під час західних і південно-західних вторгнень, пом'якшуючи континентальність клімату [34]. Таким чином, клімат Харкова, як і всієї Харківської області, є помірно континентальним: із тривалою, проте не суворою зимою з частими відлигами та помірно теплим, іноді спекотним літом.

На тлі цього загального макроклімату формується специфічний міський клімат, який посідає проміжне положення між макро- і мікрокліматом. Він охоплює територію, що зазнає суттєвого антропогенного впливу, і характеризується зменшенням припливу сонячної радіації, ослабленням сили вітру, зміною його напрямку, підвищенням температури та збільшенням запиленості порівняно з передмістями [141].

Основними чинниками, що визначають формування мезо- й мікроклімату міста, є особливості підстильної поверхні та інтенсивність антропогенної діяльності. Своєрідність і неоднорідність підстильної поверхні Харкова зумовлені розчленованістю рельєфу, наявністю річкових долин, водойм, парків і

лісових масивів, що оточують місто, а також щільністю забудови й концентрацією промислових об'єктів.

Значна площа штучних покриттів, поєднана зі складною конфігурацією вулиць і варіативністю висоти споруд, суттєво впливає на тепловий режим. Це призводить до гальмування руху повітряних мас і зниження рівня випаровування, водночас посилюючи денний прогрів поверхонь і теплове випромінювання вночі. Разом із тепловими викидами від транспорту й промисловості це спричиняє зміни у тепловому балансі міста та формування своєрідного «острова тепла» [58].

Мезокліматичні особливості міста найбільш виразно проявляються взимку. У сонячну погоду температура повітря в окремих районах Харкова може бути на 1,5-2,0 °C вищою, ніж у передмісті, тоді як у похмурі дні різниця становить не більше 0,6-0,8 °C [34; 58]. Найтеплішими в зимовий сезон є північно-західна, центральна та південно-східна частини міста [58]. Незначне підвищення температури спостерігається також на більш відкритій північно-східній (Салтівка), північній (лісопарк Сокольники) та південній околицях (район авіаційної метеорологічної станції (далі АМС)) [22]. У похмуру погоду температурний ефект міста в цих районах практично не виявляється.

Важливим чинником формування мікроклімату є рельєф місцевості. Для поверхні міста та його околиць типовим є рівнинно-горбистий рельєф, густо порізаний яружно-балковою мережею та річищами. Географічно забудова базується на п'яти пагорбах, займаючи при цьому простори трьох великих річкових заплав. Формування рельєфу тісно пов'язане з особливостями геологічної будови та тектонічними процесами, що визначають сучасний вигляд міського ландшафту. Центр міста лежить у межиріччі річок Лопань і Харків. У геоморфологічному відношенні воно являє собою лівобережні тераси Лопані. Північна частина Харкова розташована на вододільному плато цих річок. Тут відзначається і абсолютна висота земної поверхні в межах міста, що досягає 205 м (район селища Жуковського) [12]. Західна частина міста займає міжріччя річок Уди і Лопань, що було терасами р. Уди. Південно-західна околиця розташована

на правому березі р. Уди в межах плато і правобережних терас цієї річки. На лівому березі річок Уди та Харків (нижче впадіння Лопані) розташована східна частина міста, що являє собою 10-кілометрову терасову смугу [12]. Абсолютна висота поверхні тут знижується до 95 м у заплаві Уди (південна околиця) [12]. Водночас значна висотна амплітуда в межах міста (110 м) зумовила розвиток розгалуженої мережі ярів та балок. Найважливішим елементом рельєфу є річкові долини, які зазвичай мають значну ширину. Долини всіх основних річок мають різко виражену асиметричну будову: крутий і високий правий схил, низький і пологий терасований лівий.

Рельєф місцевості значною мірою формують яри та балки. Подекуди їх щільність настільки висока, що вони стають основною ландшафтною рисою. Їхні розміри корелюють із віком: сучасні утворення мають довжину 2-3 км, тоді як стародавні можуть перевищувати 10 км, при глибині від кількох до десятків метрів. За формою це переважно долини, інколи – циркоподібні заглиблення.

Яри класифікують на два основні типи: нерозгалужені та деревоподібні (сильно розгалужені) [75]. Саме розгалужені, глибокі та короткі яри густо вкривають високі праві схили річкових долин.

Для вирівнювання міських територій часто застосовують метод засипання низин промисловим і будівельним сміттям. Це створює екологічні ризики: у засипаних пониженнях піднімаються ґрунтові води, які вимивають шкідливі речовини з відходів, негативно впливаючи на локальний мікроклімат.

Територія міста базується на пагорбах та схилах з антропогеновим покривом поверх крейдяних та палеоген-неогенових порід. Розподіл ґрунтів виглядає наступним чином [26]:

- на півночі, в центрі та на півдні (терасові лесові рівнини) залягають чорноземи типові середньогумусні разом із солонцюватими ґрунтами;
- на заході (розчленовані лесові височини) формуються чорноземи типові малогумусні та сірі опідзолені ґрунти, характерна наявність дібров;
- на сході (останцево-горбисті височини) переважають чорноземи типові середньогумусні, діброви та глибокі яри, що сягають крейдяних порід.

Річкові заплави в межах міста характеризуються наявністю лучних остепнених та солонцюватих ландшафтів.

Річний хід рівня річок Уди, Лопань і Харків характеризується чітко вираженим весняним паводком, низькою і тривалою літньо-осінньою та зимовою міжею, яка іноді порушується невисокими і короткочасними дощовими паводками.

Істотний вплив на формування кліматичних і мікрокліматичних особливостей міського середовища мають рельєф місцевості, експозиція схилів, орієнтація вулиць відносно сторін горизонту, напрямки панівних вітрів, ширина вулиць і площ, висотність забудови, наявність водойм і річок, а також ступінь озеленення території [58]. Вирішальним фактором є значна трансформація природного ландшафту – заміна ґрунтового покриття асфальтом, бетоном і каменем, що суттєво змінює теплові властивості та режими вологості міського простору [58].

Термічний режим Харкова формується під впливом трьох головних компонентів: радіаційних факторів клімату, особливостей атмосферної циркуляції та властивостей підстилаючої поверхні [58]. Співвідношення впливу цих факторів протягом року є змінним. Значна віддаленість від морів зумовлює помірно континентальний тип клімату, що характеризується відносно тривалою, але не суворою зимою з частими відлигами, а також помірно теплим, подекуди спекотним літом.

Район Харкова, як і центральна частина України, належить до помірного кліматичного поясу з атлантико-континентальним впливом і помірним рівнем зволоження. У зимовий період часто спостерігаються виноси теплого й вологого повітря з південного заходу, пов'язані з переміщенням циклонів [57]. Наприкінці зими та на початку весни активізуються відроги й ядра Азорського антициклону, посилюється дія радіаційних факторів, що спричиняє часту появу сонячної сухої погоди [84]. У цей час також підвищується частота виходу на територію України південних і південно-західних циклонів, які нерідко спричиняють небезпечні погодні явища – сильний вітер, ожеледь, туман або хуртовину. Такі ситуації

часто виникають при підвищенні атмосферного тиску над Сибіром, що блокує рух циклонів на схід [84]. Літній період характеризується ослабленням адвекційних процесів і зростанням ролі радіаційних та місцевих факторів клімату [94; 57]. Під впливом Азорського антициклону переважає стійка суха й тепла погода, яка іноді супроводжується посухами й суховіями. Порушення літньої циркуляції повітряних мас зазвичай відбувається на початку вересня. Восени активність Азорського антициклону поступово зменшується, натомість частіше проявляються відроги Сибірського антициклону [84]. У цей період посилюється циклонічна діяльність: через територію проходять циклони з північного заходу, заходу й південного заходу. Південно-західні циклони, що надходять із Середземного моря та низовин Дунаю, приносять тепле й вологе повітря, іноді з ознаками тропічного [84]. Західні циклони несуть повітряні маси помірних широт з Атлантики, північно-західні – із Скандинавії та Балтики, а епізодично спостерігаються також вторгнення північних (з Баренцевого моря) і південних (з акваторії Чорного моря) циклонів [84].

Відповідно до географічного положення Харків протягом року отримує значну кількість сонячної радіації. Основою формування міського мікроклімату є зміни у структурі теплового балансу, в якому сонячна радіація відіграє провідну роль. Її інтенсивність починає поступово зростати вже з січня, досягає максимуму в червні–липні, а від серпня спостерігається стабільне зниження, яке триває до грудня, коли фіксується мінімум надходження сонячної енергії. У Харкові, за даними за 2024 рік (табл. 1.1), кількість годин сонячного сяйва становило 2156,3 на рік з максимумом у вересні (316,6 годин) і мінімумом у лютому (98,3 годин) [157, 132]. Значне ослаблення сонячного сяйва взимку відбувається через істотне збільшення природної хмарності (повторюваність похмурого стану неба взимку 81%, тоді як влітку вона становить 48%).

Таблиця 1.1

Кількість годин сонячного сяйва в місті Харків у 2024 році

Місяць	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
К-ть годин	117,4ч	98,3	151,3	186,7	213,6	117,4	240,2	303,8	316,6	177,4	117,9	115

Джерело даних: [157]

Проте, окрім природних факторів, у режимі сонячної радіації, що надходить до поверхні землі, велику роль відіграє саме антропогенна запиленість повітря в місті [58; 57]. Вона викликає значне ослаблення важливої складової частини сонячної радіації – ультрафіолетової радіації, що має сильну біологічну дію на живі організми.

Підсумовуючи вплив міського середовища, слід констатувати, що в Харкові сонячна радіація ослаблена внаслідок забруднення атмосфери. Оскільки місто обволікає пелена туману, пилу і диму, відбувається ослаблення прямої сонячної радіації на 10-17% [57]. На режим сонячної радіації впливає також зміна ландшафту міста і передмість: у місті тривалість сонячного сяйва в порівнянні з сільською місцевістю менша на 5% [57].

Ці дані мають велике практичне значення для врахування термічного режиму при проектуванні міст, будівництві шкіл, лікарень, інститутів тощо [58]. Вони дозволяють проектувальникам і будівельникам заздалегідь визначити ступінь освітленості будівель і температурний режим стін будівель різної орієнтації.

Температура повітря є одним із визначальних кліматичних параметрів, що залежить від комплексної дії сонячної енергії, руху повітряних мас і властивостей поверхні.

Головним індикатором теплового стану території слугують середні добові температури. Вони відображають динаміку змін між нагріванням повітря вдень та його охолодженням уночі (табл. 1.2).

Таблиця 1.2

Середньодобові температури повітря в місті Харків у 2024 році (°C)

Місяць	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
°C	-3,5	2,1	8	15,3	18,1	22	24,4	23,8	18,2	10,7	4	2,8

Джерело даних: [157]

У місті Харків у 2024 році спостерігається виразна річна амплітуда температур, характерна для помірно континентального клімату (рис. 1.1.).

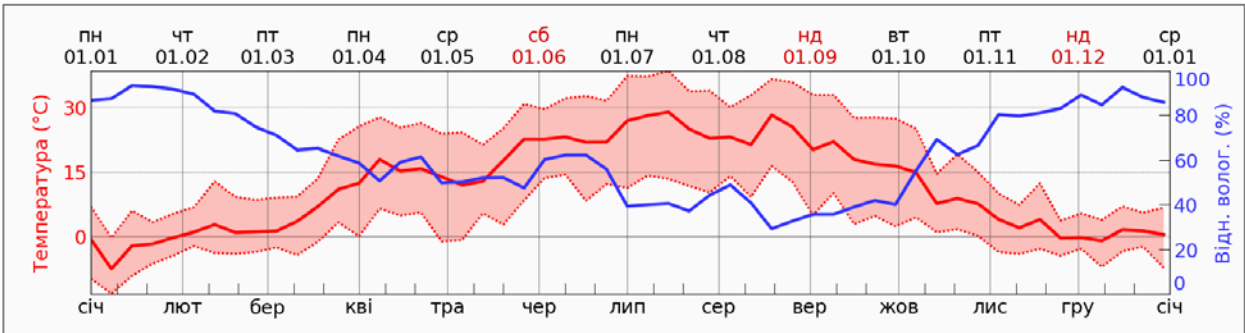


Рис. 1.1. Динаміка температури та відносної вологості повітря, м. Харків (2024 рік) (за даними [157])

Найнижчі середньодобові температури зафіксовано у січні (-3,5 °C), лютому (2,1 °C) та грудні (2,8 °C), що свідчить про холодну зиму з переважанням морозних днів. У березні температура підвищується до 8 °C, що свідчить про помітне весняне потепління. У квітні середньодобова температура становить 15,3 °C, у травні – 18,1 °C, що вказує на стійке наростання тепла й початок активного вегетаційного періоду. Літні місяці характеризуються найвищими температурами з піком тепла у серпні – 23,8 °C. Це свідчить про тривалий теплий період із комфортними умовами для розвитку рослинності та рекреаційної діяльності населення. Починаючи з вересня спостерігається поступове зниження температури, яке продовжується у жовтні та листопаді (від 18,2 °C до 7,5 °C відповідно). Такі показники відображають осіннє охолодження повітря, зменшення сонячної радіації та перехід до зимового періоду.

У літній період спостерігаються певні просторові відмінності температури повітря в межах міста. Так, у липні при ясній або змінній хмарності (75-80 %) у центральній частині Харкова температура в середньому на 0,5-1,1 °С вища, ніж у передмісті (район Козачої Лопані) [12]. Водночас у похмуру погоду вдень і ввечері температури в центрі міста та за його межами вирівнюються або навіть бувають нижчими на 0,3 °С. За багаторічними спостереженнями, центральний район і південна околиця (район АМС) мають близькі температурні показники [12]. Вночі в липні в центрі міста повітря буває трохи прохолоднішим – на 0,5 °С. Аналогічна тенденція спостерігається між північною, більш захищеною частиною міста (Сокольники) та відкритими південними районами (АМС): у Сокольниках у середньому на 0,1-0,5 °С холодніше [12]. Ці мікрокліматичні контрасти зумовлені особливостями рельєфу, щільністю забудови та неоднаковою інтенсивністю нагрівання підстильної поверхні.

У цілому, температурний режим Харкова у 2024 році був типовим для регіону: з вираженим контрастом між холодною зимою та теплим літом, поступовими міжсезонними переходами й середньорічною температурою близько 12,2 °С, що відповідає нормальним умовам для Лівобережного Лісостепу України.

Велику роль у зміні температурного режиму відіграють і антропогенні впливи. За усередненими даними, середня температура в містах у міру концентрації в них енергетичних установок безперервно підвищується (за останні 50 років приблизно на 1°) [57].

Таким чином, більш щільна забудова міста, кам'яні та залізобетонні споруди, що обігріваються взимку зсередини і нагріваються влітку сонцем, суцільне асфальтове покриття вулиць і площ призводить до підвищення температури повітря тут у порівнянні з більш вільно забудованими околицями.

Характеризуючи вологість повітря, слід зазначити, що в холодний період відносна вологість повітря в місті дещо більша, ніж в його околицях, а в літній період навпаки – нижча на 20-25 % [58]. У 2024 році середній показник відносної вологості в межах міста становив 66 % (табл. 1.3., рис. 1.1).

Таблиця 1.3

Відносна вологість повітря в місті Харків у 2024 році (%)

Місяць	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
%	85	80	77	60	57	64	46	41	43	75	78	90

Джерело даних: [157]

Аналіз співвідношення температури та відносної вологості повітря чітко ілюструє зворотну залежність, характерну для помірно-континентального клімату:

- Взимку (зокрема у січні та грудні) на тлі мінімальних температур спостерігається пік відносної вологості, рівень якої сягає понад 80%;
- Влітку (липень, серпень): фіксується температурний максимум (середні показники досягають 22-24 °C), тоді як відносна вологість падає до мінімальних річних показників (40-50 %).

Ця кореляція зумовлена фундаментальною фізичною властивістю атмосфери: зі зростанням температури підвищується межа насичення повітря водяною парою. Саме тому в літній період, навіть за умови високого вмісту абсолютної вологи, відносна вологість залишається невисокою, оскільки тепле повітря ще далеко від стану повного насичення (своїї максимальної «вологоємності»).

Район Харкова та Харківської області за кількістю опадів відноситься до зони недостатнього зволоження [132]. У 2024 році в межах міста випало 303 мм опадів (табл. 1.4., рис. 1.2).

Таблиця 1.4

Кількість опадів в місті Харків у 2024 році (мм)

Місяць	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
мм	65,5	37,1	10,4	16,8	8	46,9	10,2	2,3	2,4	16	42,3	45,1

Джерело даних: [157]

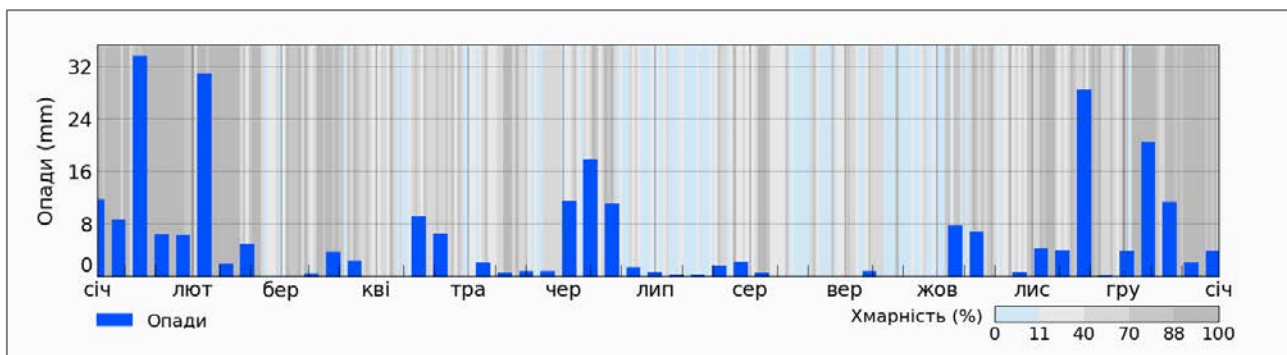


Рис. 1.2. Характеристика режиму зволоження (опадів та хмарність) у м. Харків за 2024 рік (за даними [157])

Менша кількість опадів у місті у 2024 році випала саме в теплий період року (з квітня по жовтень, з максимумом у червні); більша – за холодний період. Мінімум опадів припадає на серпень та вересень [157].

Аналіз графіка опадів та хмарності дозволяє зробити кілька важливих висновків. Ключовою особливістю є вкрай нерівномірний розподіл опадів протягом року. Спостерігаються потужні «піки» (високі тижневі суми опадів) у січні, лютому, наприкінці червня та особливо в листопаді-грудні. Водночас фіксуються тривалі періоди практично без опадів, зокрема в березні, квітні та наприкінці літа (серпень-вересень).

Графік демонструє, що висока хмарність не завжди корелює з великою кількістю опадів. Наприклад, березень і квітень характеризувалися як переважно похмурі (домінуючий сірий фон), однак кількість опадів у цей час була мінімальною. І навпаки, в червні на тлі відносно меншої загальної хмарності пройшли значні дощі.

У теплий період року (з квітня по жовтень) основною формою атмосферних опадів є дощ. Характерною особливістю є те, що над територією Харкова випадає більше опадів, ніж над його околицями [58; 132]. Це зумовлено активнішим розвитком конвективної хмарності над щільною міською забудовою, що сприяє виникненню локальних зливових дощів.

Мінливість кількості опадів із року в рік є значно вищою, ніж коливання температурного режиму [57]. Особливо великою вона буває саме в теплий

період, коли атмосферні процеси мають більш динамічний характер. Загалом протягом року опади розподіляються нерівномірно: у холодний сезон, попри більшу кількість днів із випаданням опадів та їхню тривалість, їхній сумарний обсяг менший. У теплу пору року, навпаки, опади більш інтенсивні, проте короточасні – переважно у вигляді злив.

Навесні та влітку часто спостерігається, що після нетривалого дощу, що випадає з купчастих хмар, небо швидко прояснюється. Зливові дощі в цей час нерідко супроводжуються грозами, кількість яких істотно змінюється з року в рік. Наприклад, у 1950 році в Харкові спостерігалось лише 19 днів із грозами, тоді як у 1956 та 1960 роках – 41 день [57]. У середньому протягом року відзначається близько 23-25 грозових днів [94]. Найчастіше грози трапляються в червні та липні, а найрідше – у березні та жовтні [84].

Важливим чинником формування міського мікроклімату виступає вітровий режим. У 2024 році середній показник швидкості вітру становив 5,5 м/с. При цьому інтенсивність руху повітряних мас змінювалася залежно від сезону: пікові значення швидкості було зафіксовано у зимовий та весняний періоди (табл. 1.5., рис. 1.3).

Таблиця 1.5

Швидкість вітру в місті Харків у 2024 році (м/с)

Місяць	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
м/с	8,9	7	5	4,9	4,5	4,2	4,1	3,8	5,1	5,2	5,9	7,7

Джерело даних: [157]

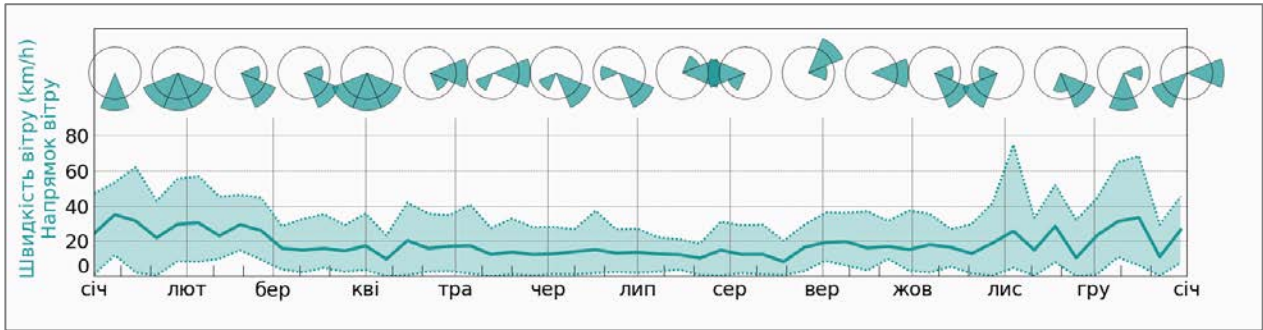


Рис. 1.3. Характеристика вітрового режиму м. Харків за 2024 рік (швидкість та напрямок) (за даними [157])

Графік вітрового режиму є важливим для розуміння сезонних змін. Він чітко демонструє, що найвища середня швидкість вітру та найбільші пориви (показані найширшою затіненою областю) у Харкові спостерігаються в холодний період року (січень-березень та листопад-грудень). Найтепліші місяці (червень-серпень) характеризуються як найспокійніші.

Аналіз щомісячних роз вітрів свідчить про чітко виражену зміну домінуючих вітрів. У квітні та травні 2024 року абсолютно домінували східні вітри, тоді як влітку, зокрема в липні, переважали західні та північно-західні напрямки.

Місто зі своїм специфічним ландшафтом вносить істотні зміни в структуру повітряних потоків, послаблюючи їх швидкість і змінюючи напрямок. У тиху сонячну погоду, коли асфальт, кам'яні стіни та інші поверхні міста інтенсивно нагріваються, виникають конвективні потоки повітря [58]. Вони формують систему слабких вітрів: на освітлених сонцем ділянках рух повітря спрямований угору, а на затінених – донизу. Також порівнюючи співвідношення швидкості вітру між окремими районами міста і АМС, можна відзначити, що в будь-який сезон і час доби найбільше ослаблення вітру буде в центральних озелених ділянках [141]. Швидкості вітру при північному і південному напрямках в місті і в районі АМС, як правило, однакові.

Таким чином, міський вітер не лише відображає загальні умови атмосферної циркуляції, а й істотно впливає на мікроклімат та багато аспектів життя природи. Саме тому його режим обов'язково враховують у практичній діяльності – зокрема, під час проєктування транспортних магістралей, розвитку зелених зон чи планування забудови.

У Харкові, як і в більшості великих промислових центрів, внаслідок викидів продуктів згоряння, водяної пари та пилу, що слугують ядрами конденсації, спостерігається підвищена кількість днів із туманами [12]. У межах міста їх зазвичай на 3-5, іноді навіть на 8-9 днів більше, ніж у передмістях [57]. Найчастіше тумани трапляються восени та взимку: у холодний період року їх кількість сягає 42 днів, з максимумом у грудні (до 9 днів) [57]. У теплий період

(квітень-вересень) тумани трапляються значно рідше – близько 12 днів, з мінімумом у травні та червні [57]. Зростання їхньої повторюваності в зимовий час пов'язане зі збільшенням кількості гігроскопічних домішок у повітрі.

Зима в Харкові зазвичай починається у двадцятих числах листопада, хоча середнє відхилення дати настання сезону становить близько 12 днів [22]. Її прихід пов'язаний із надходженням арктичного повітря в тилу циклонів, що зміщуються на схід, або зі сходженням відрогів континентального антициклону зі сходу. У цей час відзначаються снігопади та хуртовини (з жовтня по квітень), а також утворення інію (з вересня по травень) [22]. Найбільш небезпечним зимовим явищем є ожеледь, яка найчастіше спостерігається з листопада по березень, і у середньому за рік фіксують близько 10-12 днів із цим явищем [57].

Формування снігового шару на території міста переважно відбувається у другій половині листопада, а його повне танення фіксується наприкінці березня. Проте, ці часові рамки є досить нестабільними і можуть змінюватися [22]. Наприклад, у 2024 році перший сніг з'явився 21 листопада, а остаточно зійшов 28 березня [157]. Загальна кількість опадів у вигляді снігу того року становила 22,37 см: найбільше снігу випало в січні (5,3 см), найменше – у березні (0,07 см) [157]. Через особливості підстильної поверхні (асфальт, камінь) сніговий покрив у межах міста формується пізніше, ніж у передмістях, і тане раніше [58]. Відповідно, кількість днів зі сніговим покривом у Харкові менша на 5-10 днів, ніж у навколишніх районах.

З настанням весни циркуляційні процеси поступово слабшають, натомість зростає роль радіаційного фактора та впливу підстильної поверхні [58]. Весна починається у двадцятих числах березня, а середнє відхилення її початку становить 8-11 днів [22]. У цей час активізуються грозові процеси, які тривають до вересня. Суховії, як і грози, спостерігаються щорічно протягом теплого періоду – з квітня по вересень.

Кліматичне літо розпочинається з моменту стійкого переходу середньодобової температури через позначку $+15^{\circ}\text{C}$. Традиційно це відбувається в середині травня, проте варіативність строків може становити 10-

12 діб [22]. Літній сезон характеризується переважанням радіаційного фактора і впливу підстильної поверхні. Суха і спекотна погода у цей час пояснюється дією Азорського антициклону, що формується над півднем Європи. Циклонічна діяльність у таких умовах розвинена слабо: здебільшого фіксуються невиразні циклони та улоговини. Саме з ними пов'язані короткотривалі опади, грозові явища та випадки випадіння граду [57].

Наприкінці весни та на початку осені циклонічна діяльність слабшає, натомість зростає повторюваність антициклонів. Внаслідок цього переважають сухі континентальні маси повітря: взимку – холодні, влітку – теплі [57].

Осінь настає, коли середня добова температура знижується нижче 15 °С, зазвичай у перших числах вересня. Середнє відхилення дати початку сезону становить 7-10 днів [22]. У цей період відбувається поступова перебудова атмосферної циркуляції від літнього до зимового типу. Азорський антициклон слабшає, натомість посилюється циклонічна діяльність. У першій декаді вересня, як правило, утримується тепла та суха погода. Різка зміна термічного режиму відбувається з середини місяця через адвекцію (вторгнення) арктичних повітряних мас. У період жовтня-листопада погодні умови визначаються посиленням впливу Сибірського антициклону. Це призводить до встановлення похмурої погоди з високою вологістю, мрякою та поривчастим вітром. Зростає повторюваність туманів, а в листопаді опади трансформуються у змішані (дощ зі снігом) [57]. У цей час формується тимчасовий сніговий покрив, а також спостерігаються явища ожеледі та інію. На тлі поступового похолодання в кінці вересня – на початку жовтня нерідко спостерігаються короткочасні періоди потепління, зумовлені адвекцією теплого повітря. Цей час характеризується тихою, сонячною погодою – так званим періодом «золотої осені» [161].

Харків лежить у лівобережному лісостепу на правих крутосхилах долин Сіверського Дінця та його приток (Уди, Лопані, Харків), тому тут переважають широколисті ліси – насадження дуба та липи – з глибокими балками і ярками, вкритими лугово-степовою та чагарниковою рослинністю [51; 50]. Ґрунти долин переважно опідзолені чорноземи і темно-сірі ґрунти с Основними деревними

породами є дуб (зокрема черешчатий), каштан, липа, береза, верба, тополя та клен, у прибережних лісах зростають також дикі яблуні й груші [51]. Поширені місцеві кущі – ліщина, бруслина, глід, бузина, калина, шипшина тощо (частина підліску лісостепу), а численні літні сади й фруктові сади на околицях додають видовий склад культурних рослин.

Типові представники тваринного світу міста – такі, що звичайні для лісостепової зони. У лісах та заказниках Харківщини водяться дикі кабани, лосі, благородні олені та сарни, а серед хижих ссавців зустрічаються лисиця, лісова куниця, ласка, лісовий тхір, горностай. У самих лісопарках міста також живуть зайці-русаки, білки, кажани і різноманітні польові гризуни (полевки, лісові миші тощо) [51; 74]. З птахів звичні горобці, синиці, голуби, сороки, сойки, дятли, сови, а також ластівки та стрижі [51]. Води річок і ставків населяють звичайні прісноводні риби; вздовж берегів ростуть очерети з амфібіями (жаби сіра та озерна), а на суші – плазуни, зокрема вуж звичайний і прудка ящірка [51].

Сучасна флора і фауна Харкова відчутно змінені міським середовищем і зазнали сильного антропогенного впливу. Водночас у великих лісопарках, заплавах річок та заказниках на околицях збереглися майже природні угруповання зі значним видовим різноманіттям.

Отже, аналіз фізико-географічних особливостей міста Харків засвідчує, що природне середовище міста, розташованого у лісостеповій зоні на межі зі степом, зазнає суттєвої та комплексної антропогенної трансформації. Розташування міста при злитті річок Лопань, Харків та Уди, які належать до басейну Сіверського Дінця, визначає ключові риси його гідрографії та рельєфу.

Клімат Харкова визначається як помірно-континентальний, що зумовлено значною віддаленістю від океанів. Проте на цей загальний макроклімат накладається виразний міський мезоклімат, сформований під інтенсивним антропогенним впливом. Щільна забудова, переважання штучних покриттів (асфальт, бетон) та теплові викиди від промисловості й транспорту фундаментально змінюють тепловий баланс.

Ця трансформація проявляється у вигляді стійкого «острова тепла», особливо помітного взимку. Міське середовище також призводить до зниження швидкості вітру, підвищення запиленості атмосфери та, як наслідок, ослаблення прямої сонячної радіації. Спостерігається і зміна режиму зволоження: у місті фіксується більша кількість опадів у теплий період, що пов'язано з активнішим розвитком конвективної хмарності над нагрітими поверхнями, а також підвищена частота туманів через більшу кількість ядер конденсації в повітрі.

Отже, розподіл атмосферних опадів протягом року в Харкові є типово континентальним, з піковими показниками у літні місяці та спадом до мінімуму взимку. Середні річні температура, швидкість вітру та вологість у місті в 2024 році склали +12,2 °C, 5,5 м/с та 66% відповідно.

Флора і фауна міста відображають його положення у лісостеповій зоні, де переважають широколисті ліси. Однак ці біологічні угруповання значно змінені міським середовищем, і природні угруповання зі значним видовим різноманіттям збереглися переважно у великих зелених зонах, лісопарках та заплавах річок.

Таким чином, фізико-географічні умови Харкова являють собою складну динамічну систему, де природні ландшафтні компоненти (рельєф, клімат, гідрографія) тісно переплетені та суттєво модифіковані тривалим інтенсивним антропогенним тиском, що створює унікальне міське середовище.

1.2. Салтівський район: забудова та довоєнний стан ландшафтів

Салтівський район міста Харкова до початку повномасштабного вторгнення у 2022 році характеризувався унікальним та складним ландшафтним утворенням міського типу. Напередодні воєнних дій, станом на 1 січня 2022 року, демографічний потенціал Харківської області загалом оцінювався у 2598961 особу [78]. Саме місто Харків, займаючи провідні позиції в Україні за чисельністю мешканців, концентрувало 1421125 осіб наявного населення [79]. В межах цієї агломерації Салтівський район утримував статус найбільшого за

чисельністю населення адміністративного району міста до початку повномасштабних воєнних дій.

Як окрема адміністративно-територіальна одиниця район був сформований 2 вересня 1937 року, отримавши первинну назву «Сталінський» [62]. Згодом, у 1961 році, на тлі політичної кампанії з десталінізації, його було перейменовано на Московський. Сучасну назву – Салтівський – район отримав лише 11 травня 2022 року [53]. До цього моменту, протягом більш ніж 60 років, використовувалася попередня назва, від якої місто відмовилося рішенням міської ради в контексті дерусифікації топоніміки на тлі російського вторгнення. Довоєнний «паспорт» району свідчив про його масштаби: значна площа була відведена під транспортні та рекреаційні ландшафти, зокрема, площа доріг складала 1581 тис. м², тоді як зелені зони, що виконували ключові екосистемні та санітарно-гігієнічні функції, займали 462 га [36; 62].

У просторовій структурі Харкова Салтівський район розташований у його північно-східному секторі (рис. 1.4). Внутрішні адміністративні кордони проходять поруч із Київським районом (на північному заході), Основ'янським (на південному заході), а також Слобідським і Немишлянським (у південній частині). На сході та північному сході район виходить на зовнішній контур міста, стикаючись із землями Харківського району області. Цей факт відіграв ключову роль у процесах розвитку приміської зони.

Формування ландшафтів району безпосередньо пов'язане з його природними передумовами, насамперед – особливостями рельєфу та гідрографії. Територія Харкова геоморфологічно являє собою горбисту рівнину, є частиною Середньоруської височини, яка відзначається значною ерозійною пересіченістю рельєфу, особливо у північній частині міста [31]. Салтівський район, розташований на північно-східній височині, є яскравим прикладом цього. Ця височина морфологічно обмежується з північного заходу долиною річки Харків та Журавлівським гідропарком, а також долиною її лівої притоки – річки Немишлі, яка частково протікає територією району. Таке розташування на підвищених елементах рельєфу зумовлює значні перевищення висот.

Гіпсометричні показники у цій частині міста досягають 30-45 метрів над південними, більш низинними, районами Харкова [44].

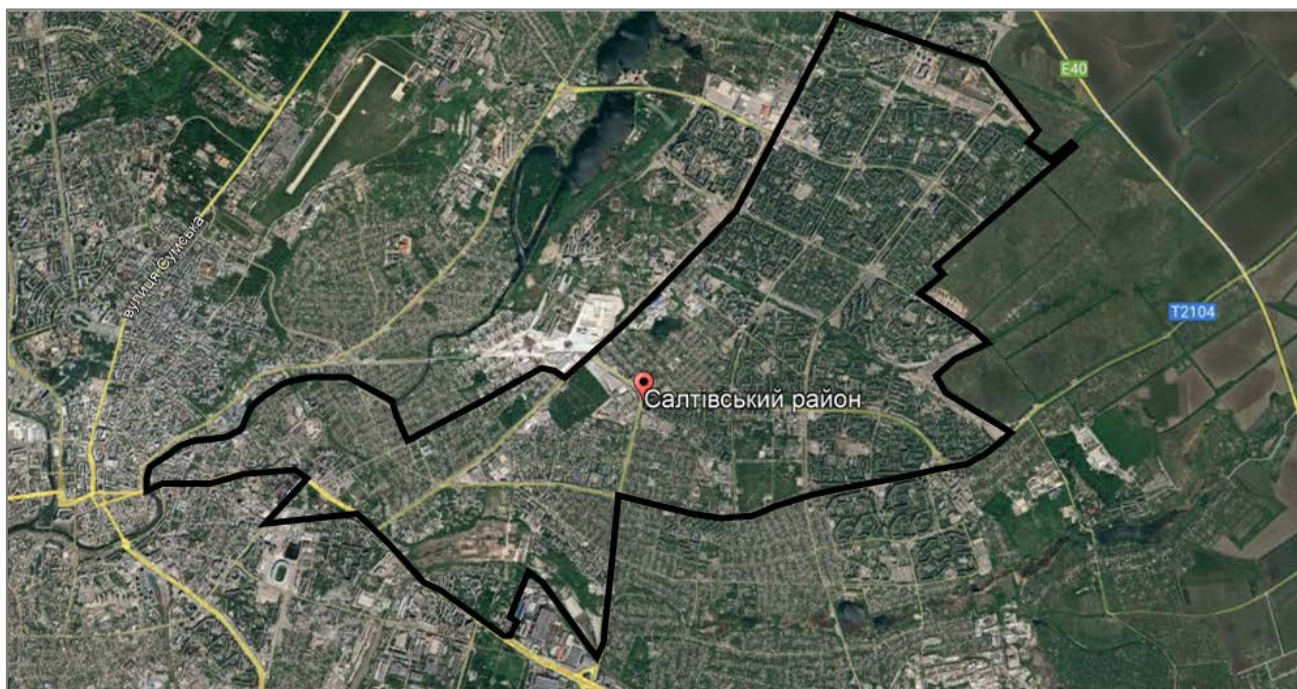


Рис. 1.4. Знімок території Салтівського району міста Харкова [115]

Зазначена специфіка рельєфу безпосередньо визначає особливості місцевого клімату, зумовлюючи його суттєву територіальну неоднорідність. Спираючись на результати профільних досліджень, у межах Харкова було здійснено районування та виокремлено п'ять ключових мікрокліматичних зон [5]. Центральний (характеризується старою ущільненою забудовою) та північно-західні райони (промислово-заводські зони) виявилися значно теплішими, формуючи так званий «острів тепла». Для них також характерна нижча відносна вологість повітря. Натомість північно-східний мікрокліматичний район, що територіально значною мірою збігається з житловим масивом Салтівка, класифікується як більш холодний. Він характеризується значно інтенсивнішим вітровим режимом. Цей феномен посилюється як через відкритість самої височини, так і через специфіку забудови.

Щільне розміщення багатоповерхових будівель створює «ефект каньйону», що призводить до турбулентності та посилення швидкості вітру у

приземному шарі повітря. Південний район (стара і нова забудова на рівнині) також є холоднішим, але взимку там фіксується вища відносна вологість. Південно-східний район (паркова зона та промислові гіганти ТЕЦ і ХТЗ) займає проміжне положення за термічними показниками та вологістю, але відрізняється зниженими швидкостями вітру [5]. Таким чином, довоєнний ландшафт Салтівки характеризувався специфічним мікрокліматом із підвищеним вітровим навантаженням та нижчими середніми температурами порівняно з центром міста, що є важливим фактором при аналізі розповсюдження вторинних наслідків руйнувань.

Сучасний антропогенний ландшафт Салтівського району є результатом тривалого містобудівного розвитку, який пройшов декілька ключових етапів. Цей процес наочно ілюструє картосхема зростання міських меж (рис. 1.5).

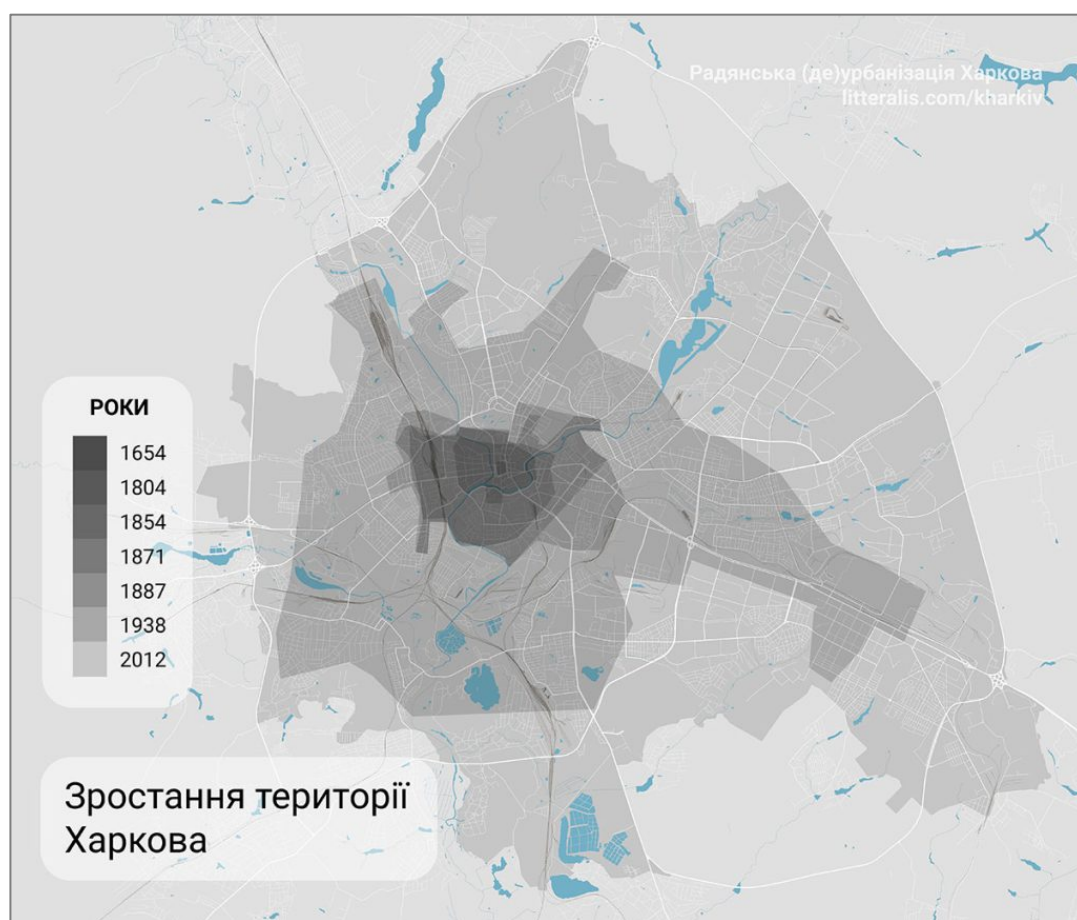


Рис. 1.5. Етапи територіального зростання м. Харків [72]

Картосхема демонструє, як відносно компактне ядро міста, що сформувалося до 1938 року, згодом стрімко розширювалося, особливо у повоєнний період, закладаючи основу для майбутньої забудови північно-східних територій.

Історично ця територія була переважно сільськогосподарською, з окремими поселеннями. Кардинальна трансформація природних ландшафтів у міські ландшафти розпочалася у XX столітті. Ще в генеральному плані Харкова 1931 року, який визначав стратегію розвитку міста як нової столиці УСРР, були закладені основи для майбутньої експансії на північний схід [28; 29]. Салтівський селищний район тоді намічався для розвитку Червонозаводського підрайону, і передбачалося, що тут потенційно мешкатимуть до 300 тисяч жителів.

Проте, найбільш інтенсивна та масова забудова Салтівки припала на 1960-ті – 1980-ті роки. Цей процес був відповіддю на гостру житлову кризу та загальносоюзну політику форсованого житлового будівництва. Саме тоді Салтівка перетворилася на найбільший в Україні «спальний район», забудований переважно типовими 9-, 12- та 16-поверховими панельними будинками. Ця забудова сформувала специфічний тип житлового ландшафту – ландшафт мікрорайонів. Планувальна структура району вирізняється суворим функціональним зонуванням та розвиненою мережею широких магістралей (зокрема, проспекти Тракторобудівників і Ювілейний, вулиця Академіка Павлова). Характерною рисою забудови є просторове розмежування житлових масивів та об'єктів соціальної інфраструктури: заклади освіти (школи й дитсадки) винесено у глибину житлових кварталів (внутрішньоблоковий простір).

До початку 1980-х років резерви вільних територій у старих межах міста були практично вичерпані. Тому традиційна планувальна радіально-кільцева структура, яка до того ж так і не була втілена в життя у повному обсязі, вичерпала свій ресурс [1]. Вона почала гальмувати збалансований розвиток міської агломерації. У відповідь на ці виклики, генеральний план 1986-1987 років

передбачав амбітне зростання населення Харкова до 2,0 мільйонів осіб до 2005 року та розраховував нові обсяги житлового будівництва [11].

Основними напрямками розміщення нової житлово-громадської забудови визначалися саме північно-східні території, що належать до Салтівського району. Конкретно йшлося про забудову вздовж вулиці Академіка Павлова та освоєння територій Східної Салтівки аж до Окружної дороги. Ідеологія плану полягала у створенні відносно самодостатніх житлових масивів із повним комплексом підприємств повсякденного та періодичного обслуговування [11]. Однак, повномасштабна реалізація цих положень була перервана кардинальними політичними, економічними та соціальними змінами, які країна пережила на початку 1990-х років.

Незважаючи на економічну стагнацію 90-х, вектор розвитку вже був заданий, що призвело до формування гетерогенної ландшафтної структури (яка поєднує житлові, комерційні та промислові зони), наочно представленої на картосхемі типів забудови району (рис. 1.6).

На картосхемі чітко простежується домінування багатоповерхової житлової забудови (позначено рожевим кольором), яка формує ядро «спальних» мікрорайонів. Одноповерхова забудова (зелений колір) та промислові зони (фіолетовий колір) займають значно менші, переважно периферійні, ділянки. «Інші території» (сірий колір), що включають яри, пустирі долини річок, слугують ландшафтними буферами між основними функціональними зонами.

Формування транспортних ландшафтів району має виражену радіально-магістральну структуру. Основою наземної мережі є густа сітка автошляхів, загальна площа яких до початку 2022 року сягала 1581 тис. м² [62].

Ключовими магістралями, що структурують забудову, виступають широкі проспекти, прокладені під час масового будівництва: проспект Ювілейний, проспект Тракторобудівників та вулиця Академіка Павлова [30]. Ці магістралі забезпечують основні внутрішньорайонні зв'язки та вихід на Окружну дорогу. Важливу роль також відіграє Салтівське шосе, яке історично слугувало одним з головних напрямків виїзду з міста у північно-східному напрямку. Однак,

визначальну роль у формуванні сучасної ландшафтно-планувальної структури відіграла друга, Салтівська, лінія Харківського метрополітену. Її будівництво та поетапне відкриття станцій, що розпочалося у 1978 році (перша черга від «Історичного музею» до «Барабашова») та тривало до 1986 року (запуск станції «Героїв Праці»), стало потужним містоформуючим фактором [30].

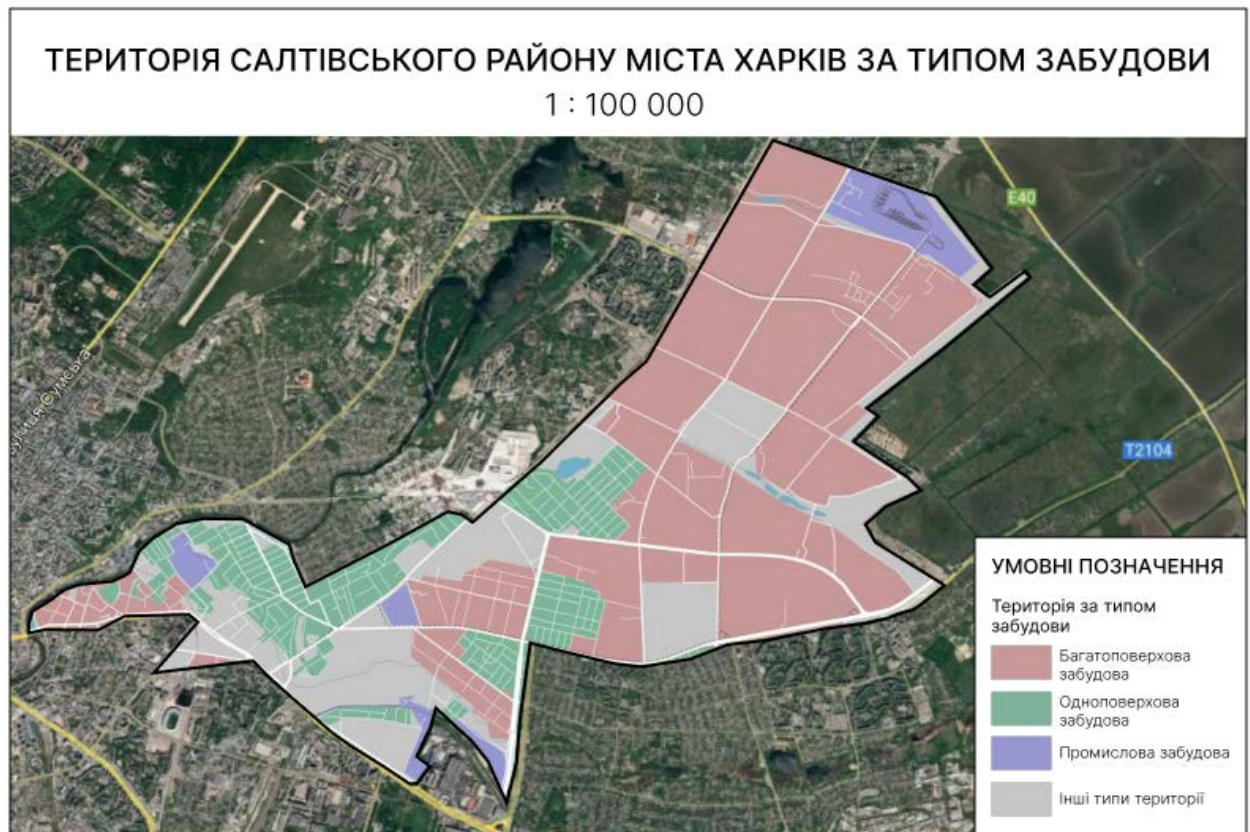


Рис. 1.6. Територія Салтівського району міста Харків за типом забудови (за даними [72; 115])

Більшість станцій цієї лінії, від «Академіка Барабашова» до «Героїв Праці», безпосередньо обслуговують Салтівський житловий масив. Метрополітен не просто вирішив проблему транспортної доступності «спального району», з'єднавши його з центром та промисловими зонами міста. Він фактично виконав роль головної осі розселення та просторової організації. Саме навколо виходів зі станцій метро («Студентська», «Героїв Праці») сформувалися найпотужніші локальні громадсько-торговельні центри та вузли тяжіння населення [37].

Ці транспортно-пересадкові вузли перетворилися на вторинні «центри» району, суттєво ускладнивши його початково монотонну мікрорайонну структуру. Доповнює цю каркасну структуру розгалужена мережа наземного електричного транспорту. Численні трамвайні та тролейбусні маршрути виконують функцію підвезення пасажирів до станцій метрополітену, а також забезпечують зв'язки між окремими мікрорайонами Салтівки та сусідніми адміністративними районами, куди не прокладено лінії метро. Таким чином, до 2022 року транспортна система району являла собою інтегрований комплекс, де підземні швидкісні магістралі поєднувалися з щільною наземною мережею, що й визначало високий ступінь антропогенного навантаження на ландшафти.

Рекреаційні ландшафти Салтівського району до 2022 року були представлені кількома типами, що разом формували неоднорідну, але функціонально важливу зелену інфраструктуру.

По-перше, це формалізовані зелені зони загального користування (сквери, бульвари) усередині житлових мікрорайонів, загальною площею 462 га [62]. Ці «зелені кишені» відігравали ключову санітарно-гігієнічну роль у середовищі найщільнішої забудови в Україні, слугуючи буферами та основними осередками короткочасної рекреації «біля дому».

По-друге, це потужний природно-рекреаційний комплекс – Журавлівський гідропарк, розташований у долині річки Харків. Він являв собою складну гідротехнічну та ландшафтну систему, що поєднувала велике водосховище з пляжними зонами та лісопарковими насадженнями [62]. Завдяки своєму масштабу, він слугував головною ареною для масового літнього відпочинку мешканців не лише Салтівки, але й усього міста, акумулюючи значні рекреаційні навантаження.

По-третє, це долини малих річок, зокрема Немишлі. Ці території часто мали напівзанедбаний стан, демонструючи ознаки замулення, антропогенного забруднення та хаотичної забудови прибережних смуг [64]. Незважаючи на це, вони зберігали значний потенціал біорізноманіття та виконували функцію

критично важливих екологічних коридорів, формуючи природний «синьо-зелений» каркас району.

Новітній етап містобудівного розвитку був закріплений у генеральному плані Харкова 2003 року (з розрахунковим терміном до 2026 року) [33]. Новітній етап містобудівного розвитку був закріплений у генеральному плані Харкова 2003 року (з розрахунковим терміном до 2026 року) [52]. Цей документ підтвердив загальну площу міста у 30,6 тис. га та знову передбачив подальше розширення його меж. Для Салтівського району це означало плани з освоєння нових територій за рахунок суміжних земель, зокрема, що належали Циркунівській селищній раді, та значних територій у кінці Салтівського шосе [52]. Основні напрямки освоєння та розвитку інфраструктури за цим планом мали відповідати принципу «економічно-доцільного розвитку», забезпечуючи комплексність та поліпшення життєдіяльності населення [52]. Це включало не лише зведення багатоповерхового житла, але й обов'язкове паралельне будівництво об'єктів соціальної інфраструктури: шкіл, дитячих садків та поліклінік [1]. Також план передбачав подальший розвиток транспортної мережі, зокрема пробивання нових магістралей для з'єднання цих територій з Окружною дорогою та існуючою вуличною мережею. Проте, реалізація цих масштабних планів зіткнулася з низкою містобудівних та економічних проблем, зокрема з питанням дорогих інженерних комунікацій та складністю освоєння пересіченого рельєфу на північно-східних околицях [1].

Фактично, до 2022 року значна частина цих проєктів залишалася нереалізованою, а нове будівництво мало скоріше точковий характер у вже існуючих мікрорайонах.

Таким чином, напередодні повномасштабного вторгнення 2022 року Салтівський район являв собою складний, високоурбанізований ландшафтний комплекс. Він сформувався на піднятому плато з вираженими мікрокліматичними особливостями. Його структура поєднувала домінуючі житлові ландшафти (переважно типова багатоповерхова забудова 1970-1980-х років), потужні комерційно-торговельні зони, розвинену транспортну

інфраструктуру та фрагментовані, але важливі рекреаційні осередки в долинах річок та паркових зонах. Саме ця гетерогенна та щільно заселена ландшафтна структура стала ареною інтенсивних бойових дій, що призвело до її катастрофічної трансформації.

Висновки до розділу 1

Було здійснено комплексний аналіз фізико-географічних умов та містобудівної структури Салтівського району міста Харків, розташованого у лісостеповій зоні на перетині річкових долин Лопані, Харкова та Уди, зі складним рельєфом та перепадом висот до 110 метрів.

Клімат міста визначено як помірно континентальний, на який суттєво впливає урбанізація, формуючи специфічний мезоклімат та ефект «острова тепла». Метеорологічні показники 2024 року зафіксували середньорічну температуру +12,2 °C та нерівномірний розподіл опадів із максимумом у теплий період.

Детально розглянуто Салтівський район, який до початку повномасштабного вторгнення був найбільшим адміністративним та житловим масивом міста. Район займає північно-східну височину Харкова з гіпсометричними показниками на 30-45 метрів вищими за південні частини міста. Орографічні особливості та щільна висотна забудова сформували тут специфічний мікроклімат із підвищеним вітровим навантаженням та «ефектом каньйону».

Встановлено, що основна фаза забудови району припала на 1960-1980-ті роки, перетворивши його на урбанізований ландшафт із домінуванням панельних багатоповерхівок. За результатами аналізу картосхем встановлено чітке функціональне зонування території з перевагою житлових ландшафтів над промисловими та одноповерховими.

Транспортна інфраструктура базується на радіально-магістральній системі широких проспектів та лінії метрополітену, що стали головними осями розселення.

Структура рекреаційних ландшафтів представлена Журавлівським гідропарком, долиною річки Немишля та внутрішньоквартальними скверами загальною площею 462 га. Природні компоненти ландшафту, зокрема ґрунти та рослинність, зазнали глибокої трансформації внаслідок тривалого антропогенного тиску.

Напередодні 2022 року Салтівський район являв собою гетерогенну, високоурбанізовану систему, де геоморфологічна відкритість височини та щільність забудови стали важливими факторами вразливості до воєнних впливів. Узагальнені дані про довоєнний стан природно-антропогенних комплексів створюють необхідну основу для подальшого геопросторового оцінювання масштабів руйнувань.

РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНІ ТА МЕТОДИЧНІ ОСНОВИ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1. Підходи до оцінювання впливів воєнних дій на ландшафти та джерельна база

Повномасштабне вторгнення російської федерації на територію України спричинило великі за масштабом та інтенсивністю трансформації антропогенних і природних ландшафтів. Місто Харків, зокрема, його найбільш населений Салтівський район, опинилося в епіцентрі цілеспрямованих та невивірених обстрілів, що призвело до глибоких і довготривалих змін у його ландшафтній структурі. В цих умовах наукове осмислення та кількісне оцінювання наслідків воєнних дій для міських ландшафтів набуває надзвичайної актуальності, адже є не лише інструментом фіксації збитків, а й фундаментальною основою для майбутнього планування, відновлення та реконструкції постраждалих територій.

Дослідження впливу збройних конфліктів на довкілля та ландшафти, що раніше фокусувалося переважно на природних територіях (вирубка лісів, забруднення ґрунтів, деградація екосистем), сьогодні стикається з новим викликом – оцінкою комплексних трансформацій високоурбанізованих середовищ.

Сучасні методи оцінки впливу воєнних дій є комплексними і поєднують кілька інструментів для отримання найбільш точних та верифікованих даних.

Міський ландшафт є складною системою, де тісно переплетені житлові, промислові, рекреаційні, інфраструктурні та залишкові природні компоненти. Воєнний вплив на таку систему має поліморфний характер і проявляється не лише у прямому фізичному руйнуванні будівель та споруд, а й у порушенні функціональних зв'язків, зміні мікроклімату, хімічному забрудненні, утворенні техногенних пусток та формуванні нових, «воєнних» форм рельєфу (вирви від снарядів, завали тощо). Тому оцінювання цих впливів вимагає розробки та адаптації комплексних методологічних підходів, що поєднують у собі інструменти з різних галузей знань – географії, картографії, геоінформатики, дистанційного зондування Землі, екології та урбаністики.

Методологічною основою для оцінки трансформацій ландшафтів під впливом воєнних дій є, перш за все, геопросторовий аналіз. Його ключова перевага полягає у здатності інтегрувати, візуалізувати та аналізувати різноманітні дані в єдиній географічній прив'язці. Сучасні підходи до вирішення подібних завдань можна умовно поділити на три основні групи:

1. Дистанційні методи, які базуються на аналізі аеро- та космічних знімків різної просторової і часової роздільної здатності.

Порівняльний аналіз знімків, зроблених «до» та «після» початку активних бойових дій, дозволяє з високою точністю ідентифікувати осередки руйнувань, оцінити площу пошкоджених територій, класифікувати ступені ураження об'єктів та простежити динаміку змін у часі.

Для доступу до цих даних використовуються спеціалізовані сервіси. Зокрема, Copernicus Open Access Hub є основним порталом, який надає безкоштовний доступ до даних супутників Sentinel, що є частиною програми Європейського Союзу з моніторингу навколишнього середовища [97]. Поряд з ним, Sentinel Hub EO Browser функціонує як потужний онлайн-інструмент для перегляду та аналізу супутникових знімків Sentinel та Landsat, що дозволяє візуалізувати дані, застосовувати різні індекси та завантажувати зображення для подальшого аналізу в ГІС-програмах [105].

У розрізі даного дослідження доцільно навести приклад, де дослідники з Українського гідрометеорологічного інституту ДСНС України та НАН України активно використовують знімки Sentinel-2 та Landsat для оцінки площі лісових пожеж, що виникли внаслідок бойових дій у Чорнобильській зоні відчуження та на сході країни у 2022 році. За допомогою індексу NBR вони змогли точно картографувати вигорілі території та оцінити збитки для лісових ландшафтів [38].

2. Застосування геоінформаційних методів (ГІС-аналіз) є ключовим для оцінки змін, оскільки вони дозволяють працювати з тематичними шарами цифрових карт, які детально відображають компоненти ландшафту: житлову забудову, зелені насадження, дорожню мережу, промислові зони. Накладання

даних про руйнування, отриманих з дистанційних чи польових досліджень, на ці базові шари дає змогу проводити комплексний аналіз вразливості різних елементів міського середовища та моделювати каскадні ефекти від пошкодження інфраструктури.

Прикладом практичного застосування такого підходу є діяльність Супутникового центру ООН (UNITAR-UNOSAT), який регулярно проводить аналіз руйнувань у зонах конфліктів. Використовуючи комерційні знімки високої роздільної здатності, експерти центру створюють детальні карти пошкоджень міської забудови, як, наприклад, для міста Алеппо в Сирії. Їхня методика, що класифікує будівлі за ступенем руйнування (повністю зруйновано, серйозно пошкоджено, можливо пошкоджено), є не лише основою для планування гуманітарних місій та майбутньої відбудови, а й слугує апробованою моделлю, що є вкрай релевантною для дослідження масштабних змін ландшафту міста Харків [110].

3. Польові та емпіричні методи є незамінними для верифікації дистанційних даних та оцінки впливів, невидимих із супутника, як-от хімічне забруднення. Ці методи включають натурні обстеження (за умов безпеки), фотофіксацію, збір зразків ґрунту та води, аналіз офіційних звітів державних служб (ДСНС, екологічна інспекція), а також використання даних з відкритих джерел (Open-Source Intelligence, OSINT).

В Україні такий підхід системно реалізується Державною екологічною інспекцією спільно з Оперативним штабом при Міндовкілля, які проводять обстеження територій, що зазнали ракетних ударів або були місцем бойових дій. Наприклад, після обстрілів нафтобаз їхня методика включає відбір проб для фіксації забруднення ґрунтів та підземних вод нафтопродуктами, а також розрахунок збитків для формування позовів проти РФ [23].

Ця практика відповідає і визнаному міжнародному досвіду. Зокрема, Програма ООН з навколишнього середовища (UNEP) застосовує схожі польові методи під час післявоєнних екологічних оцінок: від вивчення наслідків бомбардувань промислових об'єктів на Балканах до оцінки довготривалої

трансформації пустельних ландшафтів Кувейту через утворення «нафтових озер» після підпалу свердловин [138].

Доповненням до роботи офіційних державних та міжнародних інституцій є залучення інструментів громадського моніторингу та OSINT. Так, Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України розробило мобільний додаток «ЕкоЗагроза», через який громадяни можуть повідомляти про виявлені факти шкоди довкіллю (пожежі, забруднення річок, несанкціоновані звалища уламків тощо). Ці дані верифікуються та наносяться на єдину онлайн-карту, а неурядові організації, такі як «Екодія», ведуть власні хроніки екологічних злочинів на території всієї України, використовуючи OSINT-методи для перевірки інформації [2.5].

Окремої уваги в рамках емпіричних методів заслуговує підхід, заснований на аналізі даних з відкритих джерел (Open-Source Intelligence, OSINT), який до рівня ефективного інструменту розслідувань у зонах конфліктів довела міжнародна група Bellingcat. Їхня методологія полягає у пошуку, геолокації та перехресній верифікації загальнодоступної інформації – фото та відео із соціальних мереж, супутникових знімків та онлайн-карт – для отримання об’єктивних, доказових даних про події та їхні наслідки [61].

Для дослідження ландшафтних змін Салтівського району цей підхід є особливо цінним. Він дозволяє не лише верифікувати та деталізувати дані, отримані зі супутникових знімків, а й надавати їм важливий контекст. Наприклад, за допомогою OSINT можна встановити точний час руйнування будівлі або ідентифікувати його причину, що неможливо зробити лише за знімками з космосу. Крім того, цей метод дає змогу створювати детальну хронологію подій на рівні окремих міських кварталів. Таким чином, інтеграція OSINT-методів суттєво доповнює класичний геопросторовий аналіз, надаючи дослідженню необхідної глибини та доказовості.

Успішність застосування геопросторових методів аналізу безпосередньо залежить від повноти, точності та релевантності джерельної бази. Формування такої бази для території, що зазнала інтенсивного воєнного впливу є окремим

науково-практичним завданням. Для отримання об'єктивних та верифікованих результатів необхідний багатокомпонентний підхід, що поєднує дані різного типу, походження та рівня деталізації:

Фундаментом для будь-якого аналізу змін слугує базова картографічна основа та дані, що фіксують довоєнний стан і структуру ландшафту досліджуваної території. Ця основа формується з традиційних картографічних матеріалів, таких як генеральний план міста Харкова, плани зонування та публічна кадастрова карта, що дозволяють ідентифікувати функціональне призначення ділянок.

Критично важливим компонентом також є глобальні карти земного покриття. Для цього дослідження як довоєнний стан використовується шар ESA «WorldCover 2021» – продукт з просторовою роздільною здатністю 10 метрів, що детально класифікує поверхню на категорії (забудова, рослинність, відкриті ґрунти тощо) і слугує кількісною основою для подальшого порівняння [159].

Для ідентифікації особливо цінних природних ділянок, які могли зазнати впливу, залучається інтерактивна карта природно-заповідного фонду України з платформи «WowNature» [32].

Основний масив інформації про динаміку ландшафтних змін отримують із даних дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) та супутніх екологічних даних шляхом аналізу часових рядів супутникових знімків. Для дослідження залучаються мультиспектральні знімки середньої роздільної здатності, зокрема дані супутників Sentinel (ESA) та Landsat (USGS), які дозволяють проводити моніторинг стану рослинності та виявляти великі площі пошкоджень на регіональному рівні. Для детального аналізу руйнувань на рівні окремих будівель, парків та інфраструктурних об'єктів використовуються знімки високої та надвисокої роздільної здатності від комерційних операторів, таких як «PlanetScope», «Maxar» та «WorldView». Для комплексного аналізу в межах Харківської області можуть залучатися знімки з супутника NASA Terra (сенсор MODIS), які ефективні для відстеження масштабних явищ, наприклад, лісових пожеж. Важливим доповненням є метеорологічні дані з сервісу «Meteomatics»,

які через API-протоколи можна інтегрувати в ГІС-проекти для моделювання умов (наприклад, напрямку вітру під час пожеж) та більш глибокого розуміння екологічних процесів [156].

Для верифікації даних та надання соціально-економічного контексту використовуються офіційні статистичні та звітні джерела. Дані Державної служби статистики України щодо демографічної структури та щільності населення Салтівського району до 2022 року дозволяють оцінити масштаби потенційних гуманітарних наслідків, а звіти Харківської міської ради, Харківської ОДА та Державної служби з надзвичайних ситуацій (ДСНС) є першоджерелом офіційної інформації про кількість та характер пошкоджень житлового фонду та об'єктів критичної інфраструктури [73; 16]. Ці дані, хоч і не завжди мають точну географічну прив'язку, є критично важливими для перехресної перевірки результатів дешифрування знімків.

Дані з відкритих джерел (OSINT) та аналітичні платформи є найбільш динамічними, адже дозволяє отримати детальний оперативний контекст подій. Для розуміння військової обстановки, яка безпосередньо спричиняла зміни ландшафту, залучаються щоденні аналітичні звіти та карти від провідних світових аналітичних центрів, таких як «Institute for the Study of War» (ISW) та спеціалізованого ресурсу «MilitaryLand.net» [119; 143]. Вони дозволяють співвіднести зафіксовані на знімках руйнування з конкретними фазами бойових дій.

Спеціалізовані платформи, що поєднують OSINT та супутниковий моніторинг (наприклад, «Eyes on russia»), надають готові аналітичні продукти щодо військової активності [108]. Для прямої фіксації руйнувань використовуються верифіковані дані з українських проєктів, зокрема карти руйнувань та відновлення від «ReUkraine» [27]. Важливу роль відіграють і волонтерські картографічні проєкти, які агрегують дані про лінію фронту, місця обстрілів та ударів [65]. Такі ресурси, хоч і потребують додаткової верифікації, є цінним джерелом для первинного виявлення зон інтенсивного впливу.

Контекстне розуміння подій доповнюється аналітичними матеріалами від провідних світових ЗМІ, наприклад, «Financial Times» [87].

Для всебічного оцінювання ландшафтних змін в роботі застосовується методологія, що інтегрує дані супутникових знімків та інструменти геопросторового аналізу. Такий підхід є ключовим, оскільки дозволяє перейти від простої візуальної фіксації руйнувань до їх точного кількісного вимірювання. Наприклад, стає можливим не просто констатувати факт пошкодження парку, а й обчислити точну площу знищених зелених насаджень у гектарах.

Тому, практичною основою дослідження є створення спеціалізованої геоінформаційної системи для території Салтівського району. Її варто розглядати як багат шарову цифрову модель, де базові шари, що відображають довоєнний стан ландшафту (межі будівель, паркових зон, дорожня мережа), поєднуються з актуальними супутниковими даними. Саме таке інтегроване середовище створює умови для системної обробки інформації, що дозволяє об'єктивно ідентифікувати та кількісно оцінити зміни, спричинені воєнними діями.

Центральною аналітичною процедурою для створення цієї карти є метод аналізу змін (Change Detection). Його суть полягає у порівнянні двох або більше різночасових супутникових знімків. В рамках дослідження застосовується гібридний підхід: візуальне дешифрування композитних зображень для детальної типізації ушкоджень та автоматизований аналіз різницевих зображень (image differencing) для оцінки часової динаміки. Останній метод передбачає арифметичне віднімання значень спектральних індексів (NDVI, NDBI, NBR) більш пізньої дати від ранньої (або навпаки) у середовищі ГІС, що дозволяє отримати растрові карти змін з подальшою їх пороговою класифікацією на категорії: «Руйнування», «Стабільність», «Відновлення». Такий підхід є доцільним для складного міського ландшафту, оскільки він дозволяє чітко розрізняти різні типи трансформацій. Наприклад, метод може диференціювати:

- повне руйнування будівлі (де на знімку на місці даху з'являється хаотична текстура уламків);

- пошкодження зелених зон (де яскраво-зелені пікселі рослинності замінюються тьманими відтінками відкритого ґрунту або вигорівших ділянок);
- появу нових об'єктів, таких як вирви від снарядів.

Надійність кінцевої карти змін безпосередньо залежить від ретельної попередньої підготовки даних. Ключовим етапом є ідеальне просторове суміщення знімків («співреєстрація»), щоб кожен піксель зображення «до» точно відповідав тому ж пікселю на зображенні «після». Це дозволяє уникнути хибних результатів і гарантує, що виявлені зміни є реальними, а не наслідком технічної похибки. Для оцінки конкретних змін у стані ландшафту використовуються індексні методи. Вони базуються на тому, як різні об'єкти відбивають світло. Найбільш відомим є вегетаційний індекс (NDVI), який дозволяє оцінити здоров'я та густоту рослинності. Порівнюючи значення NDVI на знімках до та під час бойових дій, можна знайти ділянки, де зелені насадження були пошкоджені або знищені внаслідок пожеж чи вибухів. Для точнішого виявлення випалених територій застосовується індекс гару (NBR). Для ідентифікації змін в урбанізованому середовищі та фіксації руйнувань капітальної забудови залучається нормалізований різницевий індекс забудови (NDBI). Він дозволяє виділити антропогенні об'єкти на фоні інших типів покриття та, при порівнянні різночасових знімків, фіксувати фізичні зміни структури будівель (наприклад, перетворення цілісного даху на купу будівельного сміття). Спільне використання цих трьох індексів (NDVI, NBR, NDBI) дає змогу отримати детальну картину впливу як на зелені зони, так і на забудову міста.

Разом з індексними методами застосовується класифікація зображень, щоб проаналізувати зміни у типах земного покриття. Цей підхід дозволяє розділити супутниковий знімок на різні категорії (класи), наприклад: житлова забудова, зелені зони, відкритий ґрунт тощо. Провівши класифікацію для знімків за різні дати, можна порівняти їх і точно визначити, як змінилися площі цих категорій – наприклад, як забудована територія перетворилася на зруйновану.

Наступний крок – оцінка того, як руйнування розподілені у просторі. Для цього використовується буферний аналіз, який моделює зони можливого впливу

навколо підтверджених подій (місць вибухів, обстрілів). На основі даних з відкритих джерел у ГІС створюються «буферні зони» певного радіуса, що відображають потенційну зону ураження. Накладання цих зон на карту міста дозволяє підрахувати, які об'єкти (будинки, парки, дороги) опинилися в зоні впливу.

Для виявлення скупчень руйнувань та «гарячих точок» застосовуються методи просторової статистики. Зокрема, метод ядерної щільності (Kernel Density) перетворює точки подій на карту, що наочно показує їх концентрацію та дозволяє виділити райони з найбільшою інтенсивністю бойових дій [89].

Об'єднання та візуалізація результатів є завершальним та дуже важливим етапом. Створення карт є не просто ілюстрацією, а й інструментом аналізу, який допомагає узагальнити отримані дані та показати їх у зрозумілому вигляді. Тематичні карти пошкоджень, зміни зелених насаджень або щільності обстрілів забезпечують комплексне розуміння наслідків бойових дій.

Програмною основою для виконання цих методів є ArcGIS (версія 10.8.2) з додатковими модулями Spatial Analyst та Image Analyst. Розрахунок спектральних індексів та отримання різницевих растрів виконується за допомогою інструменту Raster Calculator. Для перетворення безперервних значень змін у дискретні класи застосовується інструмент Reclassify. Векторизація та генералізація результатів (видалення «шуму») здійснюється інструментами Raster to Polygon та Eliminate.

Таким чином, комплексне застосування цих методів дозволить провести всебічну оцінку впливу воєнних дій на ландшафти Салтівського району. Поєднання аналізу супутникових знімків та даних про місця бойових дій є важливою основою для планування майбутнього відновлення території.

2.2. Джерела даних і підготовка даних: супутникові знімки, БПЛА, кадастрові та публічні реєстри, валідація

Ефективність геопросторового аналізу безпосередньо залежить від якості, повноти та взаємної узгодженості вихідної джерельної бази. Формування комплексного набору даних для такої динамічної території, як Салтівський район, що зазнав інтенсивних бойових дій, вимагає інтеграції різнорідної інформації: растрових супутникових знімків різної роздільної здатності, векторних картографічних шарів та верифікаційних даних з публічних реєстрів і відкритих джерел (OSINT). Ключовим етапом дослідження є не просто збір цих даних, а їхня ретельна попередня обробка, що включає корекцію, калібрування та приведення до єдиної картографічної проєкції та системи координат. Цей процес є передумовою для коректного виконання аналітичних операцій, зокрема аналізу змін (Change Detection) та просторової статистики.

Основним джерелом інформації про ландшафтні зміни виступають дані дистанційного зондування Землі (ДЗЗ), які умовно поділяються на три ключові категорії. Перша категорія – це мультиспектральні знімки середньої просторової роздільної здатності, що знаходяться у вільному доступі. Провідну роль тут відіграють дані програми Європейського Союзу Copernicus, зокрема супутника Sentinel-2. Його сенсор MSI (MultiSpectral Instrument) забезпечує зйомку у 13 спектральних каналах з просторовою роздільною здатністю 10, 20 та 60 метрів і, що критично важливо, високою часовою роздільною здатністю (повторна зйомка кожні 5 днів). Це дозволяє створювати щільні часові ряди для моніторингу стану рослинності (з використанням індексу NDVI) та ідентифікації термальних аномалій і гарових площ (за індексами NBR та BAI). Дані Sentinel-2 доповнюються часовими рядами знімків супутників Landsat 8 та Landsat 9 (сенсори OLI/TIRS), які надаються Геологічною службою США (USGS) і забезпечують історичний контекст та неперервність спостережень з роздільною здатністю 30 метрів [102].

Попередня обробка (препроцесинг) даних середньої роздільної здатності є обов'язковою процедурою для забезпечення точності розрахункових індексів. Для знімків Sentinel-2 використовуються дані рівня L2A, які вже пройшли атмосферну корекцію (перерахунок відбивної здатності «на верхній межі атмосфери» (TOA) до відбивної здатності «на нижній межі атмосфери» (BOA)) за допомогою алгоритму Sen2Cor. Окрім атмосферної, проводиться радіометрична та геометрична корекція. Оскільки канали Sentinel-2, необхідні для розрахунку індексів NDBI та NBR (SWIR-діапазон), мають вихідну роздільну здатність 20 м, обов'язковим етапом є їх уніфікація з 10-метровими каналами видимого діапазону. Це здійснюється методом передискретизації (Resample) з використанням прив'язки («Snap Raster») до еталонного каналу для забезпечення точного попиксельного співставлення. Фінальним етапом підготовки є створення композитних зображень (наприклад, медіанних за певний період – весна-літо 2021/2022/2025 рр.) та їх маскування (обрізка) за точною векторною межею Салтівського району.

Другою, не менш важливою категорією, є дані радарного дистанційного зондування, зокрема знімки супутника Sentinel-1 (сенсор C-SAR). Ключова перевага радарних систем полягає в їхній здатності отримувати дані незалежно від хмарності та часу доби, що було особливо актуально для моніторингу подій у Харкові в лютому-березні 2022 року. Радарні знімки (SAR) є чутливими не до спектральних характеристик, а до фізичної структури, геометрії та шорсткості поверхні. Для оцінки руйнувань міської забудови застосовується метод аналізу когерентності часових пар (Coherence Change Detection, CCD), доступ до яких надає, наприклад, Alaska Satellite Facility (ASF) [100]. Суть методу полягає у порівнянні двох знімків SAR, зроблених до та після події (обстрілу); різке падіння когерентності (втрата схожості сигналу) на місці будівлі з високою ймовірністю свідчить про її руйнування або суттєве пошкодження, тобто про перетворення впорядкованої структури на хаотичне нагромадження уламків. Цей підхід був успішно апробований для оцінки руйнувань в інших містах України [135]. Дослідники використовували цей підхід для картографування

пошкоджень міської забудови міста Маріуполь, де порівнювали радарні знімки «до» та «після» і виявляли зони, де відбулося різке падіння когерентності сигналу [135]. Тому підготовка даних Sentinel-1 є складним багатоетапним процесом, що включає точну співреєстрацію (co-registration) часової пари знімків, застосування фільтрації спекл-шуму (наприклад, фільтра Lee) та радіометричну калібровку для коректного розрахунку когерентності.

Третя категорія даних ДЗЗ – це знімки високої (High Resolution, HR) та надвисокої (Very High Resolution, VHR) просторової роздільної здатності (від 0,3 до 2 метрів). Вони є незамінними для детальної візуальної ідентифікації та верифікації руйнувань на рівні окремих будівель, об'єктів інфраструктури та локальних пошкоджень у паркових зонах. Доступ до таких даних надається комерційними операторами, такими як Maxar (супутники WorldView, GeoEye) та Planet (сузір'я PlanetScope та SkySat) [137]. Для України значна кількість таких знімків була надана у вільний доступ у рамках гуманітарних програм, зокрема через Maxar Open Data Program [134]. Ці дані слугують не лише для аналізу, але й як основне джерело «правдивих даних» (ground truth) для валідації результатів, отриманих з даних середньої роздільної здатності. Їхня підготовка, як правило, обмежується орторектифікацією (усуненням геометричних викривлень) та точною геопросторовою прив'язкою до єдиної системи координат.

Наступним за рівнем деталізації джерелом даних є матеріали, отримані з безпілотних літальних апаратів (БПЛА). Вони формують «міст» між дистанційним супутниковим моніторингом та неможливим у багатьох випадках польовим обстеженням. Дрони дозволяють отримати зображення з ультрависокою роздільною здатністю (сантиметри на піксель), що є критично важливим для документування характеру руйнувань, оцінки стану окремих конструкцій та виявлення малих об'єктів (наприклад, вирв). Джерелом таких даних виступають матеріали, зібрані Державною службою України з надзвичайних ситуацій (ДСНС), Національною поліцією, а також верифіковані дані від журналістів та волонтерських OSINT-проектів.

Підготовка даних БПЛА кардинально відрізняється від супутникових і вимагає фотограмметричної обробки. За допомогою спеціалізованих програмних комплексів (наприклад, Agisoft Metashape, Pix4D) та на основі технології «Structure from Motion» (SfM) масив окремих, частково перекритих знімків перетворюється на цілісні геопросторові продукти [81].

У даному дослідженні самотійна фотограмметрична обробка масивів знімків та створення високоточних ортофотопланів не реалізується. Матеріали аеророзвідки залучаються виключно як допоміжне джерело візуальної інформації з відкритих джерел (OSINT) для верифікації результатів дешифрування супутникових знімків, без виконання інструментальних вимірювань.

Можливість побудови цифрової моделі поверхні (DSM) для кількісної оцінки об'ємів завалів у даному дослідженні не реалізується. Однак, для візуального 3D-аналізу окремих зон ураження, можливе залучення сторонніх онлайн-серверів (наприклад, maps3d.io), що надають 3D-моделі території за довоєнний (2016 р.) та післявоєнний (2023 р.) періоди [131]. Слід зазначити, що такий візуальний аналіз не дозволяє кількісно оцінити об'єми завалів чи точно ідентифікувати будівлі з частковою руйнацією, слугуючи ілюстративним доповненням.

Третім фундаментальним блоком даних є векторні шари та супутні документи, що описують довоєнний стан ландшафту та його функціональну структуру. У цьому дослідженні вони не формують єдину «матрицю» для ПС-накладання, а слугують як допоміжні джерела для візуального дешифрування та інтерпретації фінального знімку, отриманого методом аналізу змін (Change Detection). Основним джерелом даних про межі земельних ділянок, їх цільове призначення та форму власності є Публічна кадастрова карта України [56]. Для отримання детальних даних про інфраструктуру (дорожня мережа, контури будівель, об'єкти соціальної інфраструктури) залучаються дані волонтерського проєкту OpenStreetMap (OSM) та сервісу Google Earth Pro [14; 115]. Ці джерела є критично важливими для ідентифікації об'єктів. Додатково, для розуміння

функціонального призначення територій (житлова, рекреаційна, промислова зони), аналізується офіційний документ – Генеральний план міста Харкова [42].

Відповідно до обраного підходу, підготовка цих векторних та документних даних не передбачає їх стандартизації та інтеграції в єдину геоінформаційну систему. Шари (з кадастру, OSM) не імпортуються та не перепроєктуються в єдину систему координат, а аналізуються дистанційно. «Очищення» даних, таке як виправлення топологічних помилок чи стандартизація атрибутивних таблиць, не проводиться. Аналіз базується на візуальному співставленні результатів Change Detection з цими допоміжними джерелами.

Фінальним і найбільш критичним етапом підготовки даних є їхня валідація (перевірка достовірності). Валідація необхідна для кількісної оцінки точності результатів, отриманих автоматизованими методами (наприклад, класифікацією руйнувань за даними Sentinel-1 або Sentinel-2). В умовах даного дослідження, валідація проводиться переважно шляхом перехресної дистанційної верифікації з використанням загальнодоступних інтерактивних карт та сервісів. Як «еталон» («ground truth») для перевірки виступають сервіси OpenStreetMap та Google Earth Pro, що дозволяють візуально співставити хронологію знімків та стан об'єктів. Також залучаються офіційні звіти та карти пошкоджень, опубліковані міжнародними організаціями, зокрема Супутниковим центром ООН (UNOSAT), та дані офіційних українських джерел, наприклад, інтерактивні карти ДСНС або дані міського проєкту «Kharkiv Rebuild», які фіксують адреси пошкоджених об'єктів [95; 55].

Окремим інструментом валідації є залучення даних OSINT, зокрема геолокалізованих фото- та відеоматеріалів з місць подій, верифікованих незалежними аналітичними групами, як-от Centre for Information Resilience (CIR) [107]. Для валідації пожеж у зелених зонах (за індексом NBR) використовуються дані системи активного моніторингу пожеж NASA FIRMS (Fire Information for Resource Management System) [109]. Для агрегації різномірних верифікованих наборів даних (наприклад, меж зони бойових дій, гуманітарних коридорів, точок

пошкодження інфраструктури) також використовується гуманітарна платформа Humanitarian Data Exchange (HDX) [150].

Хоча класична методологія передбачає, що на основі зібраних верифікаційних даних створюється вибірка контрольних точок для проведення формальної оцінки точності з побудовою матриці помилок, у даному дослідженні такий кількісний аналіз точності не проводиться [96]. Натомість, верифікація має якісний, експертний характер, що базується на візуальному співставленні отриманих результатів (карти змін) з незалежними джерелами, переліченими вище. Такий підхід дозволяє підтвердити загальну коректність виявлених змін, хоча і не надає формальних метрик.

Таким чином, ретельна, багатоетапна підготовка та валідація даних формує надійний емпіричний базис для подальшого геопросторового аналізу та моделювання наслідків воєнних дій на ландшафти.

Отже, представлено широкий спектр потенційних джерел даних для геопросторового аналізу воєнних впливів, включаючи мультиспектральні, радарні та VHR-знімки, а також різноманітні методики їх обробки. В рамках даного дослідження, основою для геопросторового аналізу змін ландшафту Салтівського району слугують мультиспектральні знімки Sentinel-2. Підготовка цих даних для аналізу зосереджена на створенні візуальних часових композитів для подальшого дешифрування. Прийнята методологія дослідження базується на візуальному дешифруванні та експертній інтерпретації фінальних карт змін. Цей підхід дозволяє глибоко проаналізувати специфічні ландшафтні трансформації, які важко формалізувати автоматизованими алгоритмами. Допоміжними інструментами для цього аналізу виступають векторні дані та текстові документи. Валідація отриманих результатів полягає у перехресній верифікації виявлених змін за допомогою загальнодоступних сервісів, офіційних звітів та даних OSINT, що забезпечує достатню надійність висновків. Таким чином, сформований емпіричний базис, хоч і базується на якісній оцінці, є достатньо обґрунтованим для досягнення цілей дослідження.

2.3. Методика геопросторового аналізу: індикатори змін, класифікація ушкоджень, оцінка точності

На основі підготовлених та валідованих джерельних даних формується практична методологія геопросторового аналізу. Ця методологія є ядром дослідження і являє собою послідовний алгоритм дій, спрямованих на перехід від сирих супутникових даних до інтерпретованих висновків про трансформацію ландшафтів Салтівського району.

Враховуючи специфіку обраної джерельної бази, що спирається переважно на мультиспектральні знімки середньої роздільної здатності (Sentinel-2), методологія свідомо адаптована. Ця адаптація продиктована не лише обмеженнями даних, але й самою сутністю воєнного впливу на складний міський ландшафт, де автоматизовані алгоритми часто нездатні розрізнити хаотичні руйнування від звичайної будівельної діяльності чи сезонних змін. Тому, експертне судження, засноване на глибокому розумінні контексту території, виступає ключовим аналітичним інструментом. Центральними компонентами цієї методики є: по-перше, визначення чітких індикаторів ландшафтних змін, які можливо достовірно фіксувати на знімках 10-метрової роздільної здатності; по-друге, розробка та застосування адаптованої шкали класифікації ушкоджень та змін; і по-третє, обґрунтування процедури якісної оцінки точності отриманих результатів шляхом їх перехресної верифікації з незалежними джерелами.

Першим кроком є визначення індикаторів змін – тобто, прямих або опосередкованих ознак на супутникових знімках, які сигналізують про воєнний вплив на ландшафтні компоненти. Для високоурбанізованого середовища, яким є Салтівський район, ці індикатори є комплексними і стосуються як антропогенних, так і природних елементів. Головним індикатором змін в антропогенній забудові є зміна спектральної яскравості та текстури об'єктів. Повне руйнування великої будівлі або групи будівель фіксується на знімках Sentinel-2 як перехід від стабільного, чіткого спектрального підпису (наприклад, яскравий дах) до гетерогенної, «шумної» текстури уламків та відкритого ґрунту.

Хоча ідентифікація пошкоджень окремих малих будівель є складною при такій роздільній здатності, зони масованих руйнувань (наприклад, район павільйонів ринку «Барабашово») створюють чіткий, дешифрований сигнал. Іншим важливим індикатором є поява нових антропогенних форм рельєфу та об'єктів. Сюди відноситься утворення вирв від снарядів та ракет. Хоча окремі вирви занадто малі для Sentinel, їх скупчення або вирви від потужних боєприпасів створюють помітні зони порушення ґрунтового покриття [127]. Також до цієї категорії належить поява нових об'єктів, таких як фортифікаційні споруди, земляні вали, капоніри та мережа військових доріг і колій, що чітко фіксуються як нові лінійні та полігональні об'єкти, що порушують попередню ландшафтну структуру [152].

Для оцінки впливу на природні ландшафтні компоненти (парки, сквери, долини річок, лісосмуги) застосовуються спектральні вегетаційні індекси. Ключовим індикатором стану рослинності є Нормалізований диференційний вегетаційний індекс (NDVI). Шляхом порівняння значень NDVI, розрахованих для аналогічних вегетаційних періодів до та після повномасштабного вторгнення, виявляються зони аномальних змін. Різке, несезонне падіння значень NDVI слугує надійним індикатором деградації рослинного покриття. Причинами такої деградації можуть бути: пряме фізичне знищення зелених насаджень внаслідок вибухів, ураження уламками, пожежі або механічне пошкодження важкою військовою технікою [131].

Окремим та надзвичайно важливим індикатором є термічні аномалії, пов'язані з пожежами. Для їх детектування та оцінки площ, пройдених вогнем, використовується Нормалізований індекс гару (NBR). Цей індекс є особливо чутливим до наявності вугілля та попелу, а також до зниження вологості рослин. Розрахунок різницевого NBR (dNBR), тобто різниці між до-пожежним та після-пожежним значеннями індексу, дозволяє не лише картографувати вигорілі ділянки, але й орієнтовно оцінювати ступінь серйозності пошкодження рослинності [106].

Для безпосередньої оцінки руйнувань в урбанізованому середовищі залучається Нормалізований різницевий індекс забудови (NDBI). Він дозволяє виділяти антропогенні об'єкти (будівлі, дорожнє покриття) на фоні інших типів земного покриття. Порівняльний аналіз NDBI на різночасових знімках дає змогу фіксувати фізичні зміни у структурі забудови, зокрема ідентифікувати зони, де внаслідок обстрілів цілісні архітектурні об'єкти перетворилися на хаотичні нагромадження будівельного сміття, що змінює спектральну сигнатуру поверхні.

Зниження NDVI та поява гарових плям (NBR) у рекреаційних зонах, таких як парки, сквери та гідропарк, свідчить не лише про втрату біомаси. Це є прямим індикатором втрати ключових екосистемних послуг, зокрема рекреаційної привабливості, регуляції мікроклімату та поглинання забруднювачів. Картографування таких зон дозволяє оцінити площу ландшафтів, що тимчасово або назавжди втратили свою соціальну та екологічну функцію [154].

Цей комплексний підхід є ефективним для фіксації як пожеж у зелених зонах району (наприклад, у балках), так і пожеж у житловій забудові, що призводять до вигорання цілих будівель. Окрім того, індикаторами можуть виступати зміни у стані поверхневих вод, де внаслідок руйнувань та забруднення може змінюватись каламутність води, що фіксується у певних спектральних каналах [125].

Ідентифікація цих індикаторів у даному дослідженні проводиться із застосуванням комбінованого підходу, що поєднує автоматизований розрахунок спектральних індексів та систематичний візуальний аналіз. Методологія передбачає як розрахунок різницевих показників (на основі NDVI, NBR, NDBI), так і створення мультимедійних композитних зображень (RGB та кольорових інфрачервоних) «до» та «після» у програмному середовищі.

Цей процес експертної верифікації даних проводиться у середовищі ГІС і спирається на класичні дешифрувальні ознаки: колір, текстуру, форму, розмір та асоціацію об'єктів. Наприклад, на композиті у штучних кольорах (SWIR-NIR-Red) вигорілі ділянки набувають чіткого темно-червоного або чорного забарвлення, що контрастує зі здоровою рослинністю (яскраво-червоний).

Зруйновані будівлі втрачають чіткі прямокутні форми та однорідний колір дахів, перетворюючись на аморфні плями з «рваною» текстурою сірих та коричневих відтінків. Асоціація об'єктів (наприклад, скупчення вирв біля пошкодженої будівлі) також слугує ключем до інтерпретації причини та масштабу змін [90].

Таким чином, інтеграція розрахункових методів із послідовним візуальним порівнянням знімків дозволяє виявляти та фіксувати вищезазначені індикатори з високою точністю [129].

Теоретичне підґрунтя для інтерпретації цих індикаторів надає введений науковцями Національного наукового центру «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О. Н. Соколовського» (ННЦ «ІГА») термін – мілітарна деградація ґрунтів (деградація, спричинена збройною агресією). Ця концепція забезпечує наукову класифікацію процесів, які візуалізуються на супутникових знімках. Дослідники виділяють декілька ключових видів воєнної деградації, що безпосередньо стосуються ландшафтів Салтівського району [85]:

- Механічна деградація: Спостерігається механічна деградація ґрунтів, що проявляється у руйнуванні природної стратифікації профілю та хаотичному змішуванні генетичних горизонтів. Характерною ознакою є забруднення товщі сторонніми включеннями (фрагментами боєприпасів, уламками), а також трансформація мікрорельєфу через формування вибухових воронок, кратерів та фортифікаційних споруд (траншей). На супутникових знімках це проявляється як зони тотального руйнування та формування мілітарних ландшафтів;

- Фізична деградація: Інтенсивне ущільнення ґрунту внаслідок руху важкої військової техніки та знеструктурення через пожежі. Це корелює з індикаторами NBR та слідами техніки на відкритих ділянках;

- Хімічна деградація: Насичення ґрунтів та довкілля токсичними елементами (зокрема важкими металами й паливно-мастильними матеріалами), що відбувається через вибухову активність та руйнування військових транспортних засобів. Хоча цей вид деградації неможливо прямо дешифрувати, він є невід'ємним наслідком вибухів та пожеж, зафіксованих дистанційно;

– Біологічна деградація: Зміна чисельності та складу ґрунтової біоти, зниження біохімічної активності ґрунту, зокрема внаслідок пожеж та хімічного забруднення. На знімках це опосередковано фіксується через стійке падіння індексу NDVI.

Таким чином, індикатори, що використовуються в даному дослідженні (зміна текстури, вирви, падіння NDVI, індекси гару), є прямими візуальними свідченнями цих глибоких процесів деградації ландшафту.

Наступним логічним кроком після виявлення змін є їхня класифікація. Оскільки загальноприйнятої та стандартизованої шкали для оцінки саме ландшафтних трансформацій внаслідок воєнних дій не існує, в рамках даної роботи пропонується адаптована схема класифікації. Вона базується на принципах, закладених у міжнародних методиках оцінки пошкоджень будівель (наприклад, шкала UNOSAT), але модифікована для застосування до ландшафтних комплексів та з урахуванням обмежень 10-метрової роздільної здатності [154].

Ця класифікація застосовується шляхом експертного візуального дешифрування та ручної векторизації (оцифровування) зон змін, що є формою експертного аналізу зображень [88].

Для території Салтівського району методика передбачає визначення просторово-часових траєкторій трансформації ландшафту (TypeChange) шляхом оверлейного аналізу змін за два часові інтервали (2021-2022 рр. та 2022-2025 рр.). Це дозволяє виділити інтегральні категорії динаміки:

- Завершені зміни (Change → Stable) – руйнування першого періоду, що стабілізувалися;
- Нові зміни (Stable → Change) – руйнування або будівництво пізнішого періоду;
- Тривалі зміни (Destruction → Destruction) – зони перманентного впливу;
- Відновлення (Destruction → Regrowth) – ділянки ревіталізації або природного заростання.

Застосування цієї класифікаційної схеми дозволяє перейти від простої фіксації індикаторів до створення тематичної карти воєнних трансформацій ландшафту, яка є одним з ключових практичних результатів роботи.

Таким чином, загальний аналітичний робочий процес складається з трьох етапів: (1) створення та візуальне порівняння різночасових супутникових композитів; (2) дешифрування індикаторів змін; (3) присвоєння кожному оцифрованому полігону відповідного класу трансформації згідно з розробленою шкалою. Варто, однак, чітко усвідомлювати обмеження даної методології. Використання знімків із 10-метровою роздільною здатністю не дозволяє фіксувати пошкодження, що не призвели до руйнування даху (наприклад, вибиті вікна, пошкодження фасаду).

Також неможливо ідентифікувати часткові пошкодження окремих квартир у багатоповерхових будинках. Окрім того, найбільш небезпечні, але візуально «невидимі» наслідки, як-от хімічне забруднення ґрунтів важкими металами від уламків боєприпасів, залишаються поза межами прямої детекції цим методом [148]. Тому, отримана карта трансформацій фіксує переважно фізико-морфологічні, а не повною мірою біохімічні зміни ландшафту.

Фінальним та методологічно важливим етапом є оцінка точності отриманих результатів (створеної карти класифікації змін). Так застосовується методологія якісної оцінки точності, яка базується на принципах тріангуляції даних та перехресній верифікації з незалежними джерелами [96]. Цей підхід є стандартним для якісних географічних та соціальних досліджень, де важлива не статистична, а інтерпретаційна надійність. Процедура якісної валідації полягає у систематичному порівнянні результатів власної класифікації з набором верифікаційних даних.

Наприклад, для підтвердження коректності виділення зони тотальної руйнації у певному кварталі, необхідно перевірити, чи ця ж територія:

- позначена як «Comprehensive Damage» на картах UNOSAT [95];
- містить адреси будівель, внесених до бази проєкту «Kharkiv Rebuild» [55];

- збігається з геолокалізованими OSINT-матеріалами (фото, відео), що показують руйнування [107];
- потрапляє у зону високої щільності подій на гуманітарних картах (HDX) [150].

Аналогічно, коректність виділення класу деградації рослинності перевіряється шляхом співставлення з даними про пожежі з системи NASA FIRMS [109].

Результатом такої оцінки точності є не кількісний показник, а якісне експертне судження про ступінь узгодженості отриманих результатів з провідними незалежними джерелами. Високий ступінь такої узгодженості свідчить про надійність та достовірність обраної методології візуального дешифрування. Такий підхід, що поєднує різні джерела даних для підтвердження висновків, є важливим при моніторингу подій у зонах активних конфліктів та забезпечує наукову обґрунтованість результатів дослідження [86; 120].

Таким чином, запропонована методологія геопросторового аналізу адаптована для роботи зі знімками середньої роздільної здатності Sentinel-2, ставлячи в основу візуальне дешифрування. В якості ключових індикаторів змін для забудови визначено зміни спектральної текстури, що вказують на руйнування. Для природних компонентів ландшафту, зокрема зелених зон, основними індикаторами є вегетаційні індекси, що фіксують деградацію та пожежі. Теоретичною основою для інтерпретації цих змін слугує концепція «мілітарної деградації ґрунтів», що пов'язує візуальні індикатори з реальними фізичними та біологічними процесами. Для систематизації виявлених змін була розроблена авторська 6-рівнева шкала класифікації. Ця шкала охоплює повний діапазон трансформацій: від «зон тотальної трансформації» та «сильного пошкодження» до «деградації рослинності» та «формування мілітарних ландшафтів». Аналітичний процес поєднує візуальну інтерпретацію композитних знімків із ручною векторизацією зон змін у ГІС-середовищі. Надійність та достовірність отриманої карти трансформацій забезпечується шляхом перехресної верифікації класифікованих зон з незалежними джерелами.

Висновки до розділу 2

Було обґрунтовано комплексний методологічний підхід до оцінювання впливу воєнних дій на урбанізовані ландшафти, що базується на інтеграції дистанційних методів, геоінформаційного аналізу та верифікації даних.

Ядром джерельної бази дослідження стали мультиспектральні космічні знімки Sentinel-2 та знімками високої роздільної здатності для деталізації. Критичну роль у підготовці даних відведено попередній обробці, що включала атмосферну корекцію, ресемплінг каналів та створення мультитимових композитів. Дані OSINT у цьому дослідженні використовуються як допоміжний інструмент для візуальної валідації результатів дешифрування. Розроблено методику геопросторового аналізу, яка поєднує автоматизований розрахунок спектральних індексів із систематичним експертним візуальним дешифруванням. В якості ключових індикаторів змін обрано індекси NDBI для фіксації руйнувань забудови, NDVI для оцінки деградації рослинності та NBR для виявлення слідів пожеж.

Теоретичним підґрунтям аналізу визначено концепцію «мілітарної деградації», що класифікує впливи на механічні, фізичні, хімічні та біологічні. Запропоновано адаптовану схему класифікації ландшафтних трансформацій, яка дозволяє ідентифікувати зони тотального знищення, сильного пошкодження та специфічні мілітарні форми рельєфу. Методика визначення просторово-часових траєкторій змін (TypeChange) стає ключовою у дослідженні, адже вона розділяє процеси на завершені руйнування, нові пошкодження та етапи відновлення.

Аналітичний процес структуровано у три послідовні етапи: створення мультитимових композитних зображень, дешифрування індикаторів та векторизація зон змін у середовищі ГІС.

Процедура якісної оцінки точності отриманих результатів базується на принципах тріангуляції даних та перехресній перевірці з картами UNOSAT, звітами «Kharkiv Rebuild» та сервісами моніторингу пожеж.

РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ГЕОПРОСТОРОВОГО АНАЛІЗУ

3.1. Картографування та типізація ушкоджень ландшафтів: руйнування забудови, техногенні порушення, деградація рослинності

Воєнні дії на території міста Харків спричинили масштабні зміни у структурі середовища міста, які вимагають детального просторового аналізу. Салтівський район, як найбільш населений житловий масив, зазнає критичного антропогенного навантаження внаслідок інтенсивних артилерійських обстрілів та бойових зіткнень. Трансформації піддалися всі ключові компоненти міського ландшафту: літогенна основа, ґрунтовий покрив, біота, гідромережа та техногенні об'єкти. Ці зміни носять як прямий деструктивний характер, пов'язаний з фізичним знищенням матеріальних об'єктів, так і опосередкований, що проявляється у довготривалому порушенні екологічної рівноваги.

На основі дешифрування космічних знімків та аналізу верифікаційних даних здійснено первинну ідентифікацію та систематизацію основних проявів цих ландшафтних ушкоджень. Це дозволило виділити характерні класи деградації природно-антропогенних комплексів, що слугує необхідним етапом для подальшого вивчення їх просторового розподілу та динаміки.

Першочерговим завданням етапу картографування стала фіксація та типізація фізичного руйнування житлової та громадської забудови, що є найбільш вираженим наслідком бойових дій в міському середовищі. Цей процес базується на виявленні територій, де антропогенні ландшафти зазнали незворотних морфологічних змін. Для ідентифікації таких зон застосовувався аналіз мультиспектральних знімків Sentinel-2, який дозволив зафіксувати різкі зміни у спектральних характеристиках поверхонь, характерні для перетворення впорядкованої забудови на хаотичні нагромадження уламків.

Особлива увага у ході дослідження була приділена північно-східній частині району, зокрема території мікрорайону Північна Салтівка-1, яка географічно входить до складу Салтівського адміністративного району та

перебувала під найбільш інтенсивним та тривалим артилерійським вогнем (рис. 3.1). Специфіка забудови цієї території, що складається переважно з панельних перекриттів, вигорання фасадів та утворення значних обсягів будівельного сміття навколо об'єктів. Оскільки роздільна здатність Sentinel-2 не завжди дозволяє деталізувати ступінь пошкодження окремої будівлі, для верифікації отриманих даних було залучено високоточні зображення з сервісу Google Earth Pro та дані волонтерського проєкту OpenStreetMap. Використання історичних знімків з цього ресурсу дозволило чітко простежити хронологію руйнувань та підтвердити факти знищення конкретних об'єктів інфраструктури.

У багатьох випадках руйнування супроводжувалися потужними пожежами, сліди яких фіксуються як на супутникових знімках, так і на детальних зображеннях. Виявлені зміни текстури зображення – від чітких геометричних форм до аморфних плям – слугували головним індикатором для окреслення меж найбільш постраждалих ділянок. Важливо зазначити, що руйнування такого масштабу призводить до формування специфічних техногенних пусток, де ґрунтовий покрив перемішаний з уламками бетону, скла та металу [144]. Такі території втрачають свою первинну селітебну функцію і перетворюються на зони екологічного ризику через потенційне забруднення та пилоутворення.

Дешифрування дозволяє встановити, що епіцентри руйнувань часто корелюють із розташуванням перехресть та відкритих просторів, що пояснюється тактикою ведення бойових дій. Окрім прямого влучання, значна частина будівель зазнала пошкоджень від вибухових хвиль, що також фіксується при детальному аналізі знімків через наявність пошкоджених покрівель. Тому, трансформація забудови Салтівки носить системний характер, охоплюючи цілі квартали. Це дозволяє констатувати виникнення нового типу антропогенного ландшафту – території тотальної деструкції, яка потребуватиме повної рекультивації. Ідентифікація таких зон є критично важливою, оскільки вони стають джерелами вторинного забруднення довкілля важкими металами та будівельним пилом [99]. Таким чином, поєднання автоматизованого аналізу спектральних змін та експертної верифікації за допомогою знімків високої

роздільної здатності дозволяє створити надійну основу для подальшої просторової типізації ушкоджень [146].



Рис. 3.1. Порівняльні супутникові знімки Північної Салтівки-1 «до» (липень 2021 року) та «після» (березень 2023 року) початку повномасштабних воєнних дій [115]

За оцінками, що корелюють з даними регіональної статистики, обсяги утворення відходів від руйнувань у Харківській області є колосальними і станом на початок 2025 року перевищують 40,5 тис. тон (понад 41,4 тис. м³) [3]. У розрізі міста Харків, частка цього об'єму припадає саме на багатоповерхову забудову Салтівського району. Це створює безпрецедентне навантаження на ландшафт, оскільки будівельне сміття не лише змінює мікрорельєф, але й стає джерелом пилового забруднення та вторинної емісії токсичних речовин. Зони акумуляції уламків часто виходять за межі плям забудови, захоплюючи прибудинкові території та зелені зони, фактично перетворюючи їх на стихійні звалища.

Окремим вектором аналізу стало виявлення техногенних порушень ґрунтового та водного середовища. Хоча дистанційні методи не дозволяють

прямо виміряти хімічний склад ґрунтів, вони дозволяють локалізувати епіцентри потенційного забруднення (місця вибухів, пожеж на промислових об'єктах). Дані наземного моніторингу 2024 року підтверджують критичний рівень забруднення ґрунтів Харкова важкими металами. Так, у пробах ґрунту фіксується середній вміст цинку на рівні 433 мг/кг, міді – 103 мг/кг, а свинцю – 1,1 ГДК [17]. Максимальні концентрації, що досягають, наприклад, 1231 мг/кг для цинку, локалізуються навколо промислових зон та об'єктів інфраструктури, які зазнали ударів. Специфікою Салтівського району є те, що подібні техногенні аномалії виникають не лише у промислових зонах, а й у житлових кварталах внаслідок детонації боєприпасів та горіння побутових матеріалів.

Особливо небезпечним типом техногенних порушень, зафіксованим у ході дослідження, є забруднення водних об'єктів нафтопродуктами внаслідок руйнування інфраструктури. Яскравим прикладом, який відобразився на екологічному стані району, став інцидент у лютому 2024 року з витоком паливно-мастильних матеріалів з резервуарів нафтобази (рис. 3.2) [3.3]. Це призвело до потрапляння нафтопродуктів у річку Немишля, яка є частиною гідрографічної мережі, що межує з Салтівським районом [160].

Наслідками такої події стала не лише токсифікація води, але й довготривале забруднення заплавних ґрунтів та донних відкладів, що класифікується як зона екологічного лиха локального масштабу.

Наступним важливим етапом типізації стала ідентифікація ознак деградації рослинного покриву. Специфіка дешифрування цього типу ушкоджень полягає у необхідності розрізнення механічних пошкоджень (вибухова хвиля, уламки) та пірогенних факторів (пожежі). Основним інструментом для цього виступає аналіз спектральних індексів (NDVI, NBR), які реагують на фізіологічний стан біомаси.

Візуально на знімках високої роздільної здатності механічне знищення дерев проявляється через зміну текстури крони: вона стає «рваною», з'являються неприродні прогалини, а повалені стовбури створюють специфічний лінійний або хаотичний малюнок тіней. Особливо це помітно у паркових зонах, де

регулярна посадка дерев дозволяє чітко фіксувати будь-які відхилення від геометричної норми.



Рис. 3.2. Забруднення річки Немишлі нафтовими плямами, Харківська область, 14 лютого 2024 року [69]

Статистика свідчить про зростання кількості ландшафтних пожеж на територіях з активними бойовими діями. У Харківській області протягом 2024 року зафіксовано 117 великих лісових пожеж загальною площею понад 13 тис. га [111]. Для Салтівського району, попри його урбанізований характер, це означає, що будь-яка зелена зона (сквер, лісопаркова смуга) стає потенційним об'єктом моніторингу пожежної небезпеки. Дешифрування слідів пожеж базується на виявленні ділянок з різко зниженим альбедо (почорніння поверхні) та відсутністю фотосинтетичної активності в інфрачервоному діапазоні [128]. Іншим аспектом є ідентифікація часткового всихання рослинності, що виникає як відкладений ефект пошкодження кореневої системи або хімічного опіку від вибухових речовин. Такий тип ушкодження складніше дешифрувати візуально, тому тут вирішальну роль відіграють саме мультиспектральні індекси, які

показують «стрес» рослини ще до того, як вона повністю втратить листя. Каскадний ефект деградації рослинності, про який свідчать дані моніторингу, включає не лише втрату біорізноманіття, але й посилення вітрової ерозії на оголених ділянках. Це, у свою чергу, сприяє підвищенню запиленості повітря та формуванню локальних «островів тепла» влітку, що чітко фіксується за даними теплового каналу супутників Landsat [162].

Окремим завданням дослідження є виявлення та типізація новоутворень мікрорельєфу, що формують специфічні «мілітарні ландшафти». Процес їх дешифрування вимагає аналізу геометричних примітивів та тіней, які вони відкидають. Основними об'єктами пошуку є вирви від вибухів, траншеї, капоніри та сліди руху важкої техніки.

Вирви на космічних знімках ідентифікується як округлі об'єкти з чітко вираженим негативним рельєфом. Ключовою ознакою є наявність тіні всередині кола (її положення залежить від кута падіння сонячних променів) та світлого ореолу викинутого ґрунту навколо, що контрастує з навколишнім фоном (асфальтом або травою). Групи вирв часто утворюють кластери, що свідчить про масований обстріл певної зони (наприклад, РСЗВ).

Траншеї та окопи дешифруються як лінійні об'єкти ламаної форми (зигзагоподібні), що є характерною ознакою фортифікаційних споруд для захисту від уламків. На відміну від звичайних стежок або канав, вони мають чітку геометрію, часто дублюються та супроводжуються брустверами – насипами ґрунту, які на знімках виглядають світлішими за рахунок порушення рослинного шару.

Сліди важкої гусеничної техніки на ґрунтовому покритті виявляються як парні паралельні лінії з високою відбивною здатністю (якщо ґрунт сухий) або як темні смуги (у вологий період). Вони порушують цілісність дернини, що призводить до активізації ерозійних процесів.

Значна частина сільськогосподарських угідь та відкритих просторів на північній околиці району стала непридатною для використання через мінну

небезпеку та фізичні порушення. Загалом по області частка недоступних земель сягає 20%, що включає орні землі та пасовища [128].

Особливу увагу при типізації було приділено візуальним ознакам техногенного підтоплення. Це явище виникає як вторинний наслідок руйнування водопровідних та каналізаційних мереж, а також через порушення природного стоку завалами та вирвами. На мультиспектральних знімках Sentinel-2 зони підтоплення виділяються аномально низькими значеннями яскравості у ближньому інфрачервоному діапазоні (NIR). У видимому діапазоні (RGB) ці ділянки можуть мати темний, насичений колір, а за умов дзеркального відбиття сонця – давати яскраві бліки. Важливою дешифрувальною ознакою є локалізація таких плям: вони часто прив'язані до понижень рельєфу, підвальних приміщень зруйнованих будівель або місць проходження підземних комунікацій.

На відміну від природних водойм, техногенні підтоплення мають тимчасовий характер та неправильну форму, що змінюється в залежності від інтенсивності витoku та погодних умов. Для Харкова, як і для інших постраждалих міст, характерним є підйом рівня ґрунтових вод у зонах щільної забудови, що погіршує умови експлуатації вцілілих будівель та сприяє вторинному заболочуванню [162]. На картосхемі такі ділянки локалізуються переважно у пониженнях рельєфу та місцях концентрації інфраструктурних аварій. Детальне вивчення знімків Google Earth Pro дозволяє також фіксувати непрямі ознаки підтоплення, такі як зміна кольору рослинності на більш темний (через надлишок вологи) або поява вологолюбних видів рослин у нетипових місцях [155].

Для систематизації процесу ідентифікації вищеописаних об'єктів було розроблено зведену таблицю дешифрувальних ознак (табл. 3.1). Вона базується на аналізі форми, розміру, кольору, текстури та контекстуальних асоціацій, що дозволяє підвищити точність інтерпретації даних.

Таблиця 3.1

Дешифрувальні ознаки основних типів ландшафтних ушкоджень внаслідок
воєнних дій

Назва об'єкту (Тип ушкодження)	Пряма дешифрувальна ознака	Вірогідність дешифрування*, %
Зруйнована багатоповерхова будівля	Форма: Аморфна, втрата чіткого прямокутного контуру; Колір: Сірий, бурий, строкатий (суміш бетону, цегли); Текстура: Зерниста, «шумна», хаотична; Тіні: Нерегулярні, рвані, відсутність чіткої тіні від фасаду; Асоціація: Наявність шлейфу уламків навколо, пошкоджені сусідні об'єкти.	90-95%
Вирва від вибуху (середня/велика)	Форма: Округла або овальна, кратероподібна; Структура: Негативна форма рельєфу; Тіні: Наявність внутрішньої тіні у заглибленні; Колір: Світлий ореол викинутого ґрунту (свіжий) або зарослий (старий); Асоціація: Розташування на відкритому ґрунті або асфальті, часто групами.	85-90% (на VHR знімках)
Траншеї та окопи	Форма: Лінійна, ламана (зигзаг), вузька; Колір: Контрастний до фону (світлий ґрунт на темній траві); Структура: Заглиблення з бруствером; Асоціація: Розташування на периферії, вздовж доріг або лісосмуг, наявність капонірів.	80-85%
Ділянка пожежі (вигорання)	Форма: Неправильна, плямиста; Колір: Чорний, темно-коричневий (свіжа), темно-зелений (відновлення); Текстура: Однорідна, згладжена; Асоціація: Дим (на момент події), обвуглені стовбури дерев.	95% (за допомогою індексів NBR)
Механічне пошкодження дерев	Текстура: Зміна малюнку крони, прогалини («дірки») у суцільному покриві; Тіні: Зміна характеру падіння тіней (повалені стовбури); Асоціація: Близькість до епіцентру вибуху (вирви).	60-70%
Сліди важкої техніки	Форма: Парні паралельні лінії, смуги; Колір: Світлий (оголення ґрунту) або темний (ущільнення); Асоціація: Проходять через поля, перетинають лісопосадки, не збігаються з дорожньою мережею.	75-80%
Техногенне підтоплення	Колір: Темний, чорний (в NIR), можливі білі; Форма: Аморфна, прив'язана до понижень; Асоціація: Руйнування комунікацій, пошкоджені дамби, вирви на дорогах.	80-90% (залежить від площі)
*Вірогідність вказана для комбінації візуальн. аналізу VHR знімків та мультиспектральних даних		

Наведена таблиця демонструє, що кожен тип ушкодження має свій унікальний набір спектральних та морфометричних характеристик. Найвищу вірогідність дешифрування мають об'єкти з різкою зміною спектральних властивостей (пожежі) та значними морфологічними змінами (зруйновані будівлі). Найскладнішими для ідентифікації залишаються часткові пошкодження рослинності та сліди техніки на твердому покритті. Систематичне використання цих ознак дозволяє мінімізувати помилки інтерпретації та забезпечити високу достовірність створюваних карт пошкоджень.

Отже, фізичне знищення житлової забудови призводить до формування специфічних техногенних пусток, які характеризуються повною втратою первинних функцій. Такі зони потребують складної рекультивації через критичні обсяги накопичення будівельних відходів. Суттєву екологічну загрозу становить виявлене техногенне забруднення ґрунтів та водних об'єктів, спричинене руйнуванням промислової та комунальної інфраструктури. Деградація рослинного покриву є наслідком як прямого механічного впливу вибухів, так і масштабних пірогенних процесів, а зміни мікрорельєфу сільськогосподарських угідь полягають у новоутворених формах, таких як кратерні поля та фортифікаційні споруди. Вторинні наслідки, зокрема підтоплення та ерозія, свідчать про довготривалий характер порушення екологічної рівноваги в регіоні. Розроблена система дешифрувальних ознак дозволила систематизувати виявлені ушкодження та оцінити ступінь їхньої вірогідності. Отримані картографічні матеріали та типологія змін слугують необхідним підґрунтям для подальшого просторового моделювання ризиків та планування відновлювальних заходів.

3.2. Просторові закономірності та осередки зосередження змін у взаємозв'язку з інфраструктурою й подіями обстрілів

Геопросторовий аналіз руйнувань Салтівського району дозволяє виявити чітку диференціацію території за ступенем інтенсивності впливу воєнних дій. Станом на листопад 2025 року район залишається однією з найбільш

постраждалих урбанізованих зон України, де морфологія забудови зазнала незворотних трансформацій. За результатами аналізу OSINT-джерел щодо інцидентів, зафіксованих у період з лютого 2022 року по листопад 2025 року, виокремлюються декілька просторових кластерів ураження, які корелюють як з наближеністю до північного кордону міста (Окружна дорога), так і з розміщенням вузлових об'єктів критичної та соціальної інфраструктури (табл. 3.2). Загалом за досліджуваний період було зафіксовано понад 26 значних, задокументованих випадків масованих атак та точкових влучань, що сформували специфічний «ландшафт ризику» в межах району.

Таблиця 3.2

Зафіксовані випадки ураження інфраструктури Салтівського району
Харкова внаслідок бойових дій (2022-2025 рр.)

№	Дата фіксування повідомлення	Місце (вулиця, мікрорайон тощо)	Тип ураження
1.	04.03.2022	Вулиці Бучми, Академіка Павлова, Валентинівська [48]	Артобстріли, прицільні ураження житлових будинків
2.	18.03.2022	Вулиця Бучми, 50 [67]	Ракетний обстріл
3.	24.03.2022	Вулиця Академіка Павлова, 120 [67]	РСЗО
4.	липень 2022	Вулиця Бучми [67]	Ракетний обстріл
5.	17.08.2022- 18.08.2022	Вулиця Ахієзерів [21]	Ракетний обстріл (крилата ракета «Іскандер»)
6.	23.04.2024	Приватний сектор [76]	УМПБ Д-30
7.	08.05.2024	Шкільний стадіон [15]	Ракетний обстріл
8.	25.03.2024	Будівельний маркет «Епіцентр», вулиця Нескорених 9-А [67]	КАБ
9.	01.09.2024	Приватні будинки, спортивний об'єкт, адмінбудівлі, торговий центр [68]	Ракетний обстріл (крилата ракета «Іскандер»)
10.	25.09.2024	Багатоповерховий житловий будинок [41]	КАБ
11.	03.10.2024	П'ятиповерховий житловий будинок [40]	УМПБ Д-30СН
12.	30.10.2024	9-поверховий житловий будинок [20]	Ракетний обстріл
13.	08.11.2024	12-поверховий житловий будинок [35]	КАБ
14.	13.11.2024	Торговий центр, декілька багатоповерхових будинків [6]	Дрон «Молнія-1»
15.	05.02.2025	Нежитлова будівля та навчальний заклад [10]	Безпілотний літальний апарат типу «Герань-2»
16.	17.02.2025	Територія приватного домоволодіння неподалік від адмінбудівлі [60]	БПЛА типу «Шахед»

№	Дата фіксування повідомлення	Місце (вулиця, мікрорайон тощо)	Тип ураження
17.	14.04.2025	Цивільне підприємство [7]	БПЛА типу «Шахед»
18.	22.04.2025	Приватний будинок, складське та господарське приміщення [59]	БПЛА типу «Шахед»
19.	29.04.2025	Приватний сектор [19]	БПЛА типу «Шахед»
20.	02.05.2025	Житловий комплекс та гімназія [70]	БПЛА типу «Шахед»
21.	12.06.2025	Дах житлового будинку та фітнес-клуб, поруч з багатоповерхівкою, дах складського приміщення (один нерозірваний БПЛА) [9]	БПЛА типу «Шахед»
22.	11.07.2025	Житлова забудова, медичний заклад [8]	БПЛА типу «Шахед»
23.	03.09.2025	Навчальний заклад [43]	Дрон «Молнія-1»
25.	01.10.2025	вул. Владислава Зубенка (приватний будинок, пошкоджено щонайменше 45 будівель, гаражі, а також територія ринку біля станції метро «Барабашова» (вул.Тюрінська, павільйони на площі понад 2,8 тис. кв. м та вхід у метро) [380]	БпЛА типу «Герань-2», КАБ
26.	13.10.2025	Медичний заклад, гаражні бокси [4]	КАБ

Первинний осередок концентрації руйнувань локалізується у північній частині Салтівського житлового масиву (531-й мікрорайон міста мікрорайон Північна Салтівка-1), зокрема вздовж вулиць Леся Сердюка, Бучми та Соборності. Ця зона, що першою прийняла на себе удар артилерії та реактивних систем залпового вогню (РСЗВ) на початку березня 2022 року [46]. Аналіз даних свідчить, що саме тут щільність влучань є максимальною, що пояснюється тактичним розташуванням мікрорайонів як «форпосту» на в'їзді до міста. Зокрема, обстріли 4 та 18 березня 2022 року по вулиці Бучми стали каталізатором масового виїзду населення [48; 67]. Супутникові знімки та наземні обстеження UNOSAT підтверджують, що у цьому секторі коефіцієнт руйнування житлового фонду сягає критичних значень, що робить значну частину будівель непридатними для відновлення без повної реконструкції (рис. 3.3) [152].

Всього на території Салтівського району за даними UNOSAT помітного пошкодження зазнали 68 об'єктів в період від початку повномасштабного вторгнення до 24.04.2022 (дати аналізу знімків). Для деталізації просторового розподілу руйнувань було проведено ідентифікацію цих об'єктів та їх

функціонального призначення з використанням Публічної кадастрової карти України та даних OpenStreetMap (табл. 3.3).

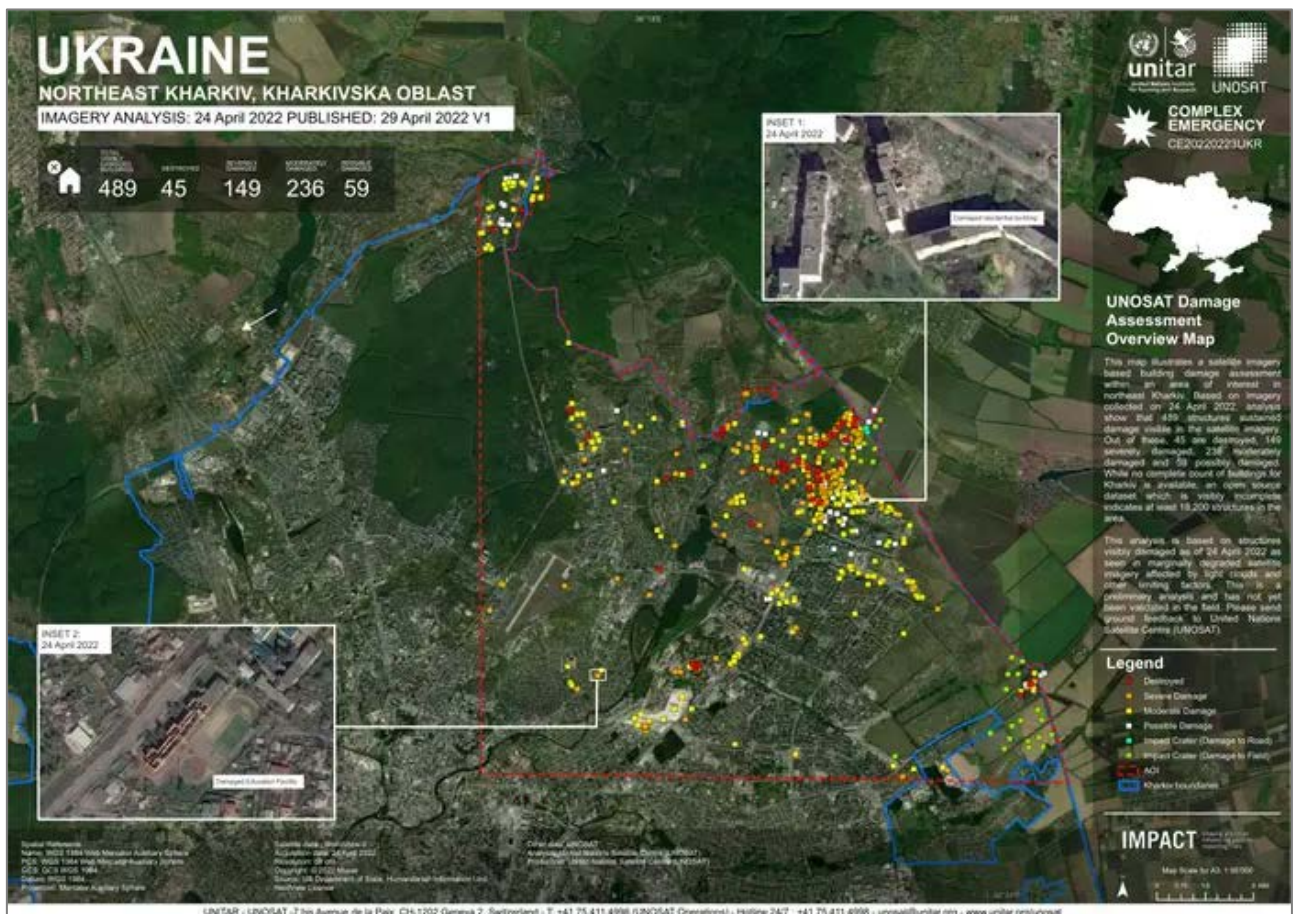


Рис. 3.3. Оглядова карта оцінки пошкоджень UNOSAT - Україна: Північно-східний Харків, Харківська область, аналіз зображень: 24 квітня 2022 р.
Опубліковано: 29 квітня 2022 р. [152]

Детальний просторовий аналіз даних UNOSAT демонструє виразну асиметрію руйнувань: з 68 зафіксованих об'єктів майже 45% (30 одиниць) сконцентровані виключно в межах мікрорайону Північна Салтівка-1. Структура пошкоджень у цій зоні є комплексною і охоплює не лише висотну житлову забудову вздовж вулиці Гвардійців-Широнінців, а й значні площі гаражної інфраструктури, зокрема кооперативи «Салтівський», «Орбіта» та «Горизонт», які зазнали масованого артилерійського впливу.

Таблиця 3.3

**Просторовий розподіл та характеристика пошкоджень інфраструктури
Салтівського району м. Харків (станом на квітень 2022 р.)**

[за даними 56; 14; 152]

Мікрорайон /географічна частина району	К-ть об'єктів	Тип ураження об'єктів	Адреси та тип пошкоджених об'єктів
Північна Салтівка-1	30	1-Серйозні пошкодження 2-Можливі пошкодження 27-Помірні пошкодження	4 об'єкти: вул.Соборності України, 238, 236 (комерційні об'єкти, житлова забудова, дорожнє покриття); 1 об'єкт: вул.Гвардійців-Широнінців, 101/99 (ТРЦ «Екватор»); 1 об'єкт: вул.Гвардійців-Широнінців, 68-В (об'єкт для експлуатації та обслуговування багатоповерхового гаражу-стоянки); 2 об'єкти: вул.Гвардійців-Широнінців, 74-А, 74-Б (житлова забудова); 1 об'єкт: вул.Гвардійців-Широнінців ріг вулиці Дружби Народів Будівництво «ЖК Меридіан» (об'єкти будівництва та подальшої експлуатації житлового комплексу»; 1 об'єкт: просп.Тракторобудівників, 109/2 (Салтівське трамвайне депо); 1 об'єкт: просп.Тракторобудівників, 111/1 (Гаражний кооператив «60 років жовтня»); 6 об'єктів: вул.Бучми, 11, 11Б (гаражний кооператив «Салтівський»); 4 об'єкта: вул.Бучми, 7, 7/1 (автогаражний кооператив «Орбіта»); 1 об'єкт: вул.Бучми, 7А (автогаражний кооператив «Горизонт»); 5 об'єктів: просп.Тракторобудівників, 166/3 (гаражний кооператив «Ентузіаст-1,2»); 3 об'єкта: просп.Тракторобудівників, 166 (гаражний кооператив «Зоря»);
524-й мікрорайон	10	3-Серйозні пошкодження	1 об'єкт: вул.Бучми, 3/1 (гаражний кооператив «Дружба»);

Мікрорайон /географічна частина району	К-ть об'єктів	Тип ураження об'єктів	Адреси та тип пошкоджених об'єктів
		7-Помірні пошкодження	1 об'єкт: вул.Гвардійців-Широнінців, 83А (паркувальний майданчик біля АЗС «ОККО»); 1 об'єкт: вул.Гвардійців-Широнінців, 83/26д (житлова забудова); 1 об'єкт: вул.Гвардійців-Широнінців, 83/26 (комерційні об'єкти); 2 об'єкта: вул.Академіка Павлова, 160 (житлова забудова, об'єкти обслуговування будівель торгівлі); 1 об'єкт: вул.Героїв Праці, 13а, 13 (об'єкт експлуатації та обслуговування павільйону магазину (торговельного майданчику) з прибудовою); 1 об'єкт: вул.Героїв Праці, 15 (торговельного майданчика «Новосалтівський будівельний ринок»); 2 об'єкта: вул.Героїв Праці, 15 (об'єкти експлуатації та обслуговування торговельного майданчику з продажу продовольчих та непродовольчих товарів та автостоянки і експлуатації будівель, споруд та торговельної площі).
531-й мікрорайон	2	2-Помірні пошкодження	1 об'єкт: вул.Бучми, 36 (житлова забудова); 1 об'єкт: вул.Нескорених, 35 (житлова забудова).
533-й мікрорайон	2	1-Серйозні пошкодження 1-Помірні пошкодження	1 об'єкт: вул.Світла (житлова забудова); 1 об'єкт: вул.Світла, 25 (об'єкт реконструкції нежитлових приміщень під виробничі приміщення (цех шиття одягу)).
606-й мікрорайон	2	2-Серйозні пошкодження	2 об'єкта: вул.Світла, 9/1 (гаражні бокси).
521-й мікрорайон	6	1-Серйозні пошкодження 5-Помірні пошкодження	2 об'єкта: вул. Валентинівська, 31 (гаражний комплекс, автостоянка); 1 об'єкт: вул.Нескорених, 24 (об'єкт будівництва та обслуговування інших будівель громадської забудови);

Мікрорайон /географічна частина району	К-ть об'єктів	Тип ураження об'єктів	Адреси та тип пошкоджених об'єктів
			1 об'єкт: вул.Академіка Павлова, 160 (житлова забудова); 2 об'єкта: вул.Валентинівська, 19 (комерційні об'єкти (Студентський ринок (Арабський базар))).
Селище Кірова (ім.Гроссет)	3	1-Серйозні пошкодження 2-Помірні пошкодження	1 об'єкт: вул.Академіка Павлова, 118 (комерційні об'єкти); 1 об'єкт: вул.Загородня, 4 (житлова забудова); 1 об'єкт: Ювілейний проспект, 45а, (об'єкт будівництва та обслуговування інших будівель громадської забудови).
602-й мікрорайон	4	4-Помірні пошкодження	4 об'єкта: Салтівське шосе, 161 (гаражний кооператив «Авто-19»).
604-й мікрорайон	1	1-Помірні пошкодження	1 об'єкт: Ювілейний проспект, 64, (комерційні об'єкти, торгівельний майданчик).
603-й мікрорайон	1	1-Серйозні пошкодження	1 об'єкт: Ювілейний проспект, 63Д, (паркінг).
656-й мікрорайон	1	1-Помірні пошкодження	1 об'єкт: 1-й Істомінський провулок, 2/170 (комерційні об'єкти).
Район міського кладовища №3	1	1-Помірні пошкодження	1 об'єкт: вул.Спортивна, 1 (Державна пожежно-рятувальна частина №5)
Район Старої Салтівки	2	1-Можливі пошкодження 1-Серйозні пошкодження	1 об'єкт: вул.Івана Камишева, 28/10 (житлова забудова); 1 об'єкт: Салтівське шосе, 43 (промисловий об'єкт)
Район Тюрінки	2	2-Можливі пошкодження	2 об'єкта: вул. Ніконівська, 8 (житлова забудова).
Район Рашкіної Дачі	1	1-Можливі пошкодження	1 об'єкт: вул.Іскринська, 97 (будівництва багатоквартирного житлового будинку з об'єктами торгово-розважальної та ринкової інфраструктури).

Другим за масштабами руйнувань є 524-й мікрорайон (10 об'єктів), де епіцентром пошкоджень стали комерційні об'єкти ринку біля станції метро «Героїв Праці» та прилегла житлова забудова. Значно менша щільність уражень фіксується у глибинних мікрорайонах: 521-му (6 об'єктів) та 602-му (4 об'єкти), де основними мішенями були об'єкти транспортного сервісу та торгівлі. Менш

інтенсивні, але точкові пошкодження характерні для Селища Кірова, 606-го та 533-го мікрорайонів, що підтверджує градієнт зменшення руйнувань у напрямку від окружної дороги до центру.

З метою актуалізації та верифікації первинних даних щодо пошкоджень було здійснено додатковий часовий аналіз з використанням супутникових знімків Google Earth Pro [115]. Це дозволило не лише виправити неточності дешифрування, але й відстежити динаміку відновлення або демонтажу постраждалої забудови (табл. 3.4)

Таблиця 3.4

Уточнена характеристика об'єктів дослідження: статус відновлення та виправлення помилок дешифрування (на основі моніторингу Google Earth Pro)

[115]

Мікрорайон /географічна частина району	Зміни, які відбулися з пошкодженими об'єктами		
	Відновлено або у процесі відновлення	Знесено	Об'єкти, які не були пошкоджені (невірне дешифрування)
524-й мікрорайон	1 об'єкт: вул.Гвардійців-Широнінців, 83/26д (житлова забудова); 1 об'єкт: вул.Гвардійців-Широнінців, 83/26 (комерційні об'єкти); 2 об'єкта: вул.Академіка Павлова, 160 (житлова забудова, об'єкти обслуговування будівель торгівлі).	2 об'єкта: вул.Героїв Праці, 15 (частковий демонтаж споруд торговельного майданчика та облаштування автостоянки) (рис.3.4)	-
531-й мікрорайон	1 об'єкт: вул.Бучми, 36 (житлова забудова, на етапі відновлення); [71]	-	1 об'єкт: вул.Нескорених, 35 (житлова забудова).
521-й мікрорайон	1 об'єкт: вул.Академіка Павлова, 160 (комерційний об'єкт) (рис. 3.5); 1 об'єкт: вул.Валентинівська, 19 (комерційний об'єкт).	-	-

Селище Кірова (ім.Гроссет)	-	-	1 об'єкт: Ювілейний проспект, 45а, (об'єкт будівництва).
656-й мікрорайон	-	-	1 об'єкт: 1-й Істомінський провулок, 2/170 (комерційні об'єкти)
Район міського кладовища №3	1 об'єкт: вул.Спортивна, 1 (Державна пожежно- рятувальна частина №5)		
Район Старої Салтівки	--	-	1 об'єкт: вул.Івана Камишева, 28/10 (житлова забудова) 1 об'єкт: Салтівське шосе, 43 (промисловий об'єкт) (рис. 3.6)
Район Тюрінки	-	-	2 об'єкта: вул. Ніконівська, 8 (житлова забудова).
Район Рашкіної Дачі	-	-	1 об'єкт: вул.Іскринська, 97 (будівництво помилково прийнято за «руйнування»).

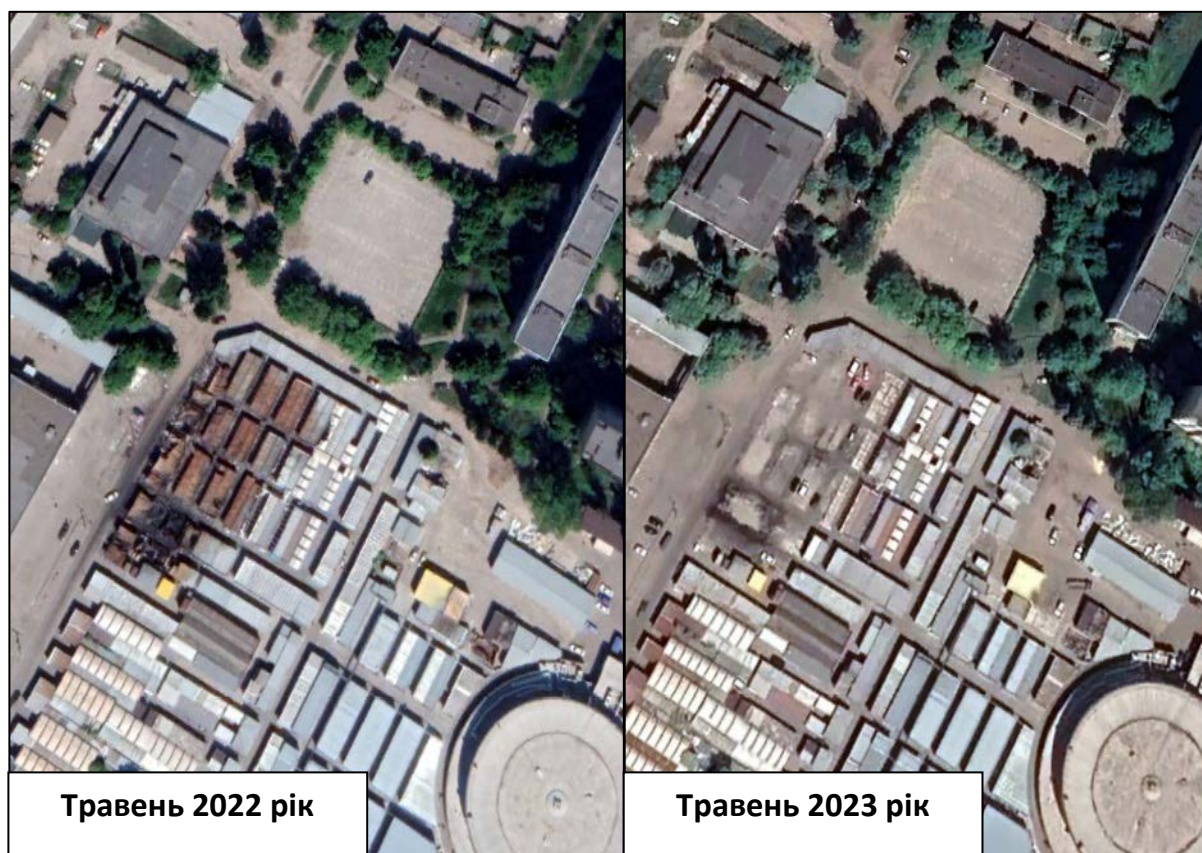


Рис. 3.4. Трансформація території за адресою вул. Героїв Праці, 15: демонтаж пошкоджених торговельних павільйонів та облаштування автостоянки [115]

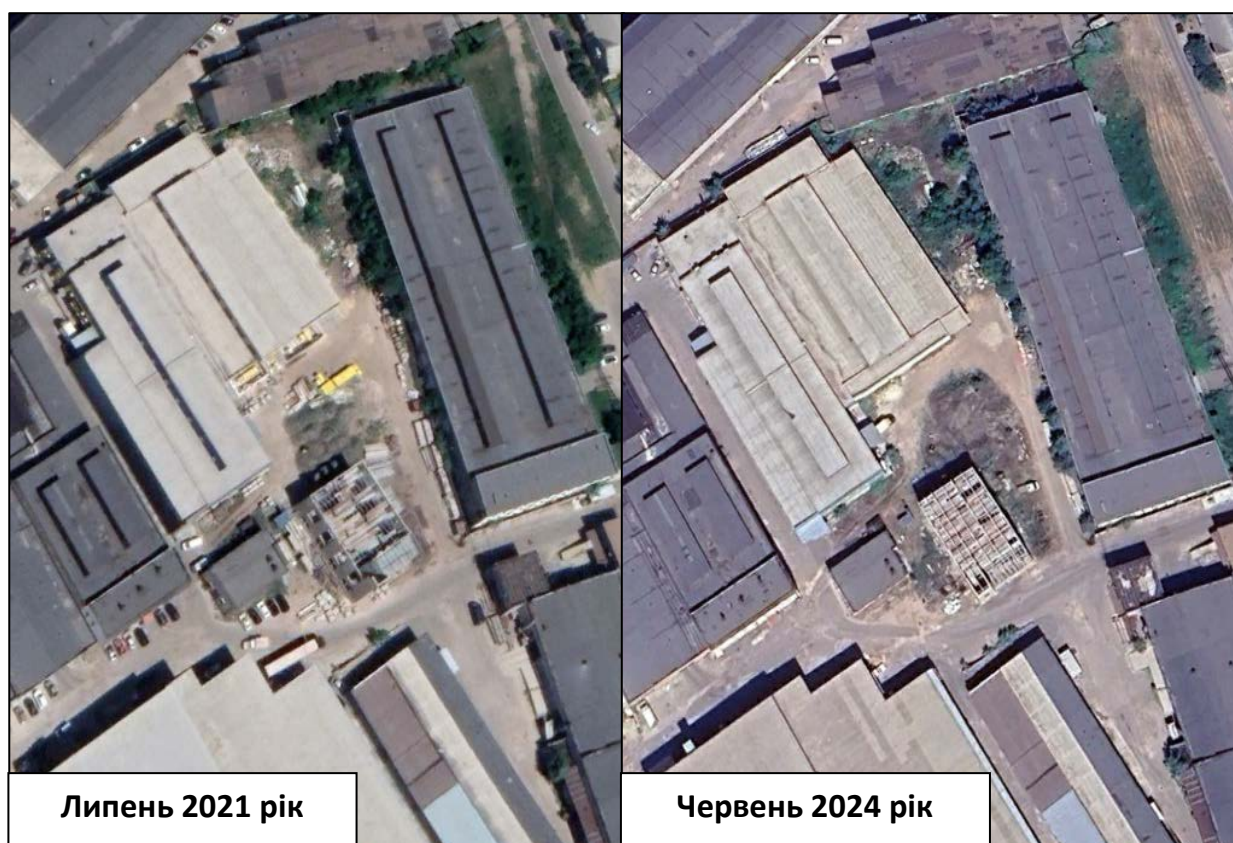


Рис. 3.5. Динаміка відбудови комерційної будівлі на вул. Академіка Павлова, 160 (порівняння стану пошкодження та поточного вигляду) [115]



Рис. 3.6. Результат верифікації стану промислового об'єкта (Салтівське шосе, 43): підтвердження відсутності пошкоджень [115]

Отже, проведена верифікація даних за допомогою часового моніторингу супутникових знімків Google Earth Pro виявила низку суттєвих розбіжностей у первинній ідентифікації об'єктів. Зокрема, було спростовано факти руйнувань у районах Рашкіної Дачі та Селища Кірова, де за наслідки обстрілів було помилково прийнято будівельні майданчики (вул. Іскринська, 97; просп. Ювілейний, 45а), що підкреслює важливість ручної перевірки автоматизованих даних OSINT [115]. Також аналіз підтвердив цілісність промислової зони на Старій Салтівці та житлової забудови на Тюрінці, що вказує на меншу інтенсивність бойових дій у південних секторах району на початковому етапі війни. Водночас, дослідження динаміки змін дозволило виокремити різні траєкторії трансформації постраждалих об'єктів: від активного відновлення житлового фонду (вул. Бучми, 36) та критичної інфраструктури (пожежна частина на вул. Спортивній) до повної зміни функціонального призначення. Яскравим прикладом останнього є реорганізація простору на вулиці Героїв Праці, 15, де на місці частково демонтованих торговельних павільйонів було облаштовано автостоянку, що свідчить про адаптацію міського середовища до поточних потреб. Виявлені факти відновлення, зокрема у 524-му та 521-му мікрорайонах, вказують на поступову ревіталізацію навіть тих зон, що зазнали помірного вогневого впливу [71].

Другий просторовий кластер уражень сформувався вздовж транспортної осі вулиці Академіка Павлова та лінії метрополітену. Тут спостерігається зміна характеру цілей: від хаотичних артилерійських ударів першого періоду війни до прицільних ракетних та атак керованими авіаційними бомбами (КАБ, Іскандер) у 2024-2025 роках, спрямованих на об'єкти торгівлі та логістики. Яскравим прикладом є руйнування будівельного гіпермаркету «Епіцентр» (вул. Нескорених, 25.05.2024) та численні удари біля території торговельного майданчика навколо станції метро «Барабашова» за вулицею Тюрінська (01.10.2025) [67; 80]. Ураження цих об'єктів має не лише фізичний, але й соціально-економічний вимір, оскільки ліквідує робочі місця та центри тяжіння для населення району. Геопросторовий розподіл цих подій вказує на системне

намагання ворога дестабілізувати економічну життєздатність району, перетворюючи комерційні зони на пустирі.

Третій тип просторових змін пов'язаний з точковими ударами по соціальній інфраструктурі в глибині житлових кварталів. Аналіз хронології подій показує тривожну тенденцію ураження навчальних закладів та медичних установ, особливо у 2025 році. Фіксація влучань БПЛА типу «Шахед» та «Герань-2» по гімназіях (02.05.2025) та нежитлових будівлях навчальних закладів (05.02.2025, 03.09.2025) свідчить про терористичний характер атак, спрямованих на унеможливлення відновлення освітнього процесу офлайн [10; 70; 43]. Просторово ці об'єкти рівномірно розподілені по території району, що створює ефект повної відсутності безпечних зон. Руйнування шкільних стадіонів (08.05.2024) та спортивних об'єктів (01.09.2024) додатково позбавляє мешканців рекреаційного простору, перетворюючи двори на небезпечні території [15; 68].

Окремої уваги заслуговує аналіз впливу воєнних дій на транспортну інфраструктуру. Пошкодження контактної мережі та трамвайного полотна по проспекту Тракторобудівників призвело до розриву усталених транспортних зв'язків. Припинення руху трамвайного маршруту №23, який виконував функцію магістрального підвезення пасажирів до станції метро Індустріальна (червона гілка), суттєво змінило патерни мобільності населення. Заміна електротранспорту на автобусний маршрут №204, який часто перевантажений, не забезпечує еквівалентної провізної здатності та комфорту [76]. Це призвело до ефекту транспортної ізоляції окремих мікрорайонів, особливо віддалених від станцій метрополітену [2]. Дослідження доступності громадського транспорту в умовах воєнного стану вказують на те, що час, витрачений на поїздки в межах району, збільшився в середньому на 35-40% порівняно з довоєнним періодом [47].

Просторова фрагментація району посилюється появою так званих «ізольованих осередків» – мікрорайонів з пошкодженими комунікаціями та обмеженим доступом до послуг. Внаслідок руйнування окремих ділянок водо- та тепломереж, цілі групи житлових будинків періодично відключаються від

систем життєзабезпечення [153]. Це явище корелює з даними про скорочення населення: у найбільш пошкоджених кварталах Північної Салтівки густота населення знизилася в десятки разів, тоді як у відносно безпечніших південних частинах району спостерігається переушільнення за рахунок внутрішньо переміщених осіб (ВПО) з прикордонних громад області. Станом на середину 2024 року в районі проживало понад 30 тисяч ВПО, що створює додаткове навантаження на вцілілу соціальну інфраструктуру південних мікрорайонів [13]. Така диспропорція у розселенні формує нові демографічні градієнти, які не були характерні для довоєнного Харкова.

Важливим аспектом геопросторового аналізу є трансформація функціонального призначення об'єктів. Школи, дитячі садки та підземні паркінги, які раніше виконували суто цивільні функції, перетворилися на об'єкти подвійного призначення – пункти видачі гуманітарної допомоги («Пункти Незламності») та бомбосховища [158]. На мапі району з'явилися нові точки тяжіння, пов'язані з безпекою під час воєнних дій, що змінило пішохідні потоки. Водночас, житлові будинки, що зазнали часткових руйнувань (як, наприклад, пошкоджені 30.10.2024 та 08.11.2024 багатоповерхівки), переходять у статус аварійних, створюючи покинуті житлові зони посеред заселених кварталів [20; 35]. Це явище описується в сучасній урбаністиці як формування «травматичного ландшафту», де фізичні руйнування постійно нагадують мешканцям про небезпеку [145]. Таким чином, змінилося психоемоційне сприйняття простору, адже відкриті площі та широкі проспекти, які раніше вважалися перевагою модерністської забудови Салтівки, тепер сприймаються як зони підвищеного ризику під час обстрілів [142].

Аналіз типів озброєння, застосованого по території району, також виявляє певні просторові закономірності. Якщо у 2022 році переважала ствольна артилерія з радіусом дії, що покривав усю Північну Салтівку, то у 2024-2025 роках основним засобом терору стали керовані авіаційні бомби (КАБ) та ударні БПЛА («Шахед», «Молнія-1»). Радіус ураження та руйнівна сила цих видів озброєння призвели до збільшення площі пошкоджень при кожному окремому

інциденті. Наприклад, атака 01.10.2025 з використанням КАБів та БПЛА пошкодила понад 45 будівель одночасно, охопивши значну територію приватного сектору та ринку [80]. Це свідчить про перехід від лінійної тактики обстрілів (вздовж фронту) до зональної, що робить неможливим виділення абсолютно безпечних секторів у межах району.

На тлі руйнувань відбуваються і процеси просторового планування відновлення. Презентований ще у 2022 році Генплан реконструкції Харкова за участі «Norman Foster Foundation» передбачає трансформацію постраждалих радянських мікрорайонів у сучасні енергоефективні простори [63]. Салтівський район розглядається як пілотний майданчик для впровадження нових технологій модульного будівництва та реконструкції панельних будинків без повного знесення, там де це технічно можливо. Проте реалізація цих планів ускладнюється постійними новими руйнуваннями, наприклад, атаки на будівельну техніку та відновлювані об'єкти (інцидент 14.04.2025 з цивільним підприємством) [7]. Тобто відновлення вимагатиме не лише архітектурних рішень, а й повної ревізії підземних комунікацій, стан яких після численних вібраційних навантажень від вибухів є критичним [24].

З екологічної точки зору, просторовий розподіл вибухів корелює з зонами забруднення ґрунтів важкими металами та продуктами горіння. Пожежі, що виникали внаслідок влучань (зокрема на ринках та у житлових будинках), призвели до локального погіршення якості повітря та ґрунтів у радіусі 500-1000 метрів від епіцентрів вибухів [18]. Зелені зони, які раніше слугували «легенями» району, частково заміновані або засмічені будівельними відходами, що вимагає проведення комплексних робіт з рекультивації земель перед початком будь-якого будівництва [54].

Отже, сучасний ландшафт Салтівського району набув ознак глибокої фрагментарності та мозаїчності руйнувань, сформованих під впливом трьох основних кластерів ураження. Первинним епіцентром деструктивних змін залишається північний сектор (531-й мікрорайон), де концентрація пошкоджень житлового фонду та гаражної інфраструктури сягає критичних значень, що

підтверджується даними UNOSAT. Другий вектор трансформації пролягає вздовж транспортно-комерційної осі вулиці Академіка Павлова, де фіксується системне знищення логістичних та торговельних об'єктів, що суттєво впливає на функціональну структуру та економічну активність цієї частини району. Третя тенденція проявляється у точковому, але систематичному ураженні соціальної інфраструктури вглибині житлових масивів, що створює ефект тотальної небезпеки та ускладнює відновлення нормального ритму життя. Важливим методологічним висновком дослідження є необхідність верифікації даних дистанційного зондування, адже автоматизований аналіз без ручної корекції може призводити до помилкової ідентифікації будівельних майданчиків як зон руйнувань.

Еволюція засобів ураження від артилерії до керованих авіабомб та БПЛА змінила просторовий малюнок ризиків, трансформуючи лінійну тактику пошкоджень у зональну. Інфраструктурна мережа району, зокрема транспортна система, функціонує в аварійному режимі з порушеною ієрархією зв'язків, що призводить до транспортної ізоляції окремих периферійних мікрорайонів. Екологічний стан території зазнав суттєвого погіршення через забруднення ґрунтів продуктами вибухів та пожеж. Фізичні руйнування та поява «ізольованих осередків» сформували специфічний «травматичний ландшафт», що впливає на психоемоційне сприйняття простору мешканцями та їхню мобільність. Відновлення району до довоєнного стану визнано неможливим та нецільовим, оскільки необхідне повне переосмислення просторової структури з пріоритетом на безпекові вимоги та енергоефективність. Ключовим вектором ревіталізації має стати створення мережі сучасних укриттів подвійного призначення та децентралізація систем критичного життєзабезпечення для підвищення стійкості громади [121]. Перспективи довгострокового розвитку тісно корелюють з концепцією «міста 15 хвилин» у стратегії Нормана Фостера, що дозволить компенсувати транспортні вади створенням автономних центрів послуг [66]. Водночас, аналіз динаміки обстрілів 2024-2025 років свідчить, що безпековий фактор та ефективність захисту повітряного простору залишаються

вирішальними обмежувачами для реалізації масштабних інвестиційних проєктів відновлення [124].

3.3. Часова динаміка змін (2022-2025): порівняння до- і післявоєнних станів

Фінальним етапом геопросторового моніторингу стала комплексна оцінка часової динаміки трансформацій ландшафту Салтівського району. Якщо у попередні результати були отримані методом візуального дешифрування та слугували еталоном для верифікації, то тепер є доцільним представлення результатів автоматизованого аналізу спектральних індексів, виконаного у середовищі ArcGIS 10.8.2. Метою цього етапу було виявлення не лише факту руйнувань, а й побудова траєкторії змін для кожної ділянки місцевості за часовий проміжок від 2021 року до 2025. Такий підхід базується на порівняльному аналізі різночасових мультиспектральних даних, що дозволяє кількісно оцінити трансформації окремих компонентів ландшафту: рослинного покриву (NDVI), забудови (NDBI) та слідів термічного впливу (NBR). Застосування алгоритмів виявлення змін (Change Detection) для послідовних часових інтервалів забезпечує об'єктивізацію даних про масштаби пошкоджень та інтенсивність природного відновлення, підтверджуючи або мінімізуючи фактор візуальної інтерпретації. Це дозволяє перейти від точкової фіксації руйнувань до розуміння системних просторових процесів, що відбуваються на території в умовах війни.

Процес обробки даних розпочався з підбору та попередньої підготовки різночасових супутникових знімків Sentinel-2 за весняний та літній періоди 2021, 2022 та 2025 років.

Критично важливим етапом стала уніфікація просторової роздільної здатності каналів. Оскільки для розрахунку індексів NDBI та NBR використовуються канали SWIR (B11, B12) з роздільною здатністю 20 м, а канали видимого та ближнього інфрачервоного діапазону (B04, B08) мають 10 м, було застосовано інструмент «Resample». Канали B11 та B12 були приведені до

роздільної здатності 10 м з використанням прив'язки («Snap Raster») до еталонного каналу B08, що гарантувало піксельну відповідність при подальших арифметичних операціях.

Усі растрові шари були спроектовані у систему координат WGS 1984 UTM Zone 37N для коректного обчислення площ.

Наступним кроком став розрахунок трьох ключових спектральних індексів для кожної дати: NDVI (рослинний покрив), NBR (сліди горіння/стан ґрунту) та NDBI (забудованість). Розрахунок виконувався за стандартними формулами у Raster Calculator із обов'язковим застосуванням функції Float(), що дозволило зберегти дробові значення пікселів і уникнути помилкового округлення даних до цілих чисел (проблеми бінаризації), яке виникало на попередніх етапах тестування методики.

Основою аналізу стала процедура виявлення змін (Change Detection) для двох часових інтервалів (Додаток А):

1. Період 2021-2022 рр. – оцінка безпосередніх наслідків активних бойових дій початкового етапу (артилерійські обстріли).
2. Період 2022-2025 рр. – оцінка поствоєнної динаміки, що включає як нові руйнування від ракетних ударів, так і процеси стабілізації або відновлення.

Для отримання карт різниць було виконано віднімання растра більш пізньої дати від растра ранньої дати. Отримані дробові растри різниць потребували перекласифікації. Враховуючи чутливість індексів, для NBR було встановлено вузький поріг стабільності (± 0.05), тоді як для NDBI та NDVI він склав ± 0.15 .

Класифікацію реалізовано через інструмент «Reclassify», що дозволило виділити три базові класи: «Destruction» (Руйнування/Негативна зміна), «Stable» (Стабільність) та «Regrowth» (Відновлення/Позитивна зміна).

Подальша обробка передбачала векторизацію результатів (Raster to Polygon) та генералізацію даних для усунення «шуму». За допомогою інструменту «Eliminate» було ліквідовано полігони площею менше 100 м² (для NBR) та 200 м² (для NDBI). При цьому була застосована стратегія «вибіркового

очищення»: за допомогою SQL-запитів полігони класу «Destruction» були захищені від видалення, навіть якщо їхня площа була незначною, оскільки для наслідків артилерійських обстрілів характерна висока фрагментарність.

Таким чином, класифікація за окремими індексами у співставленні з даними візуального дешифрування має наступні результати:.

Аналіз індексу забудови NDBI виявив специфічні технічні обмеження методу в умовах щільної міської забудови.

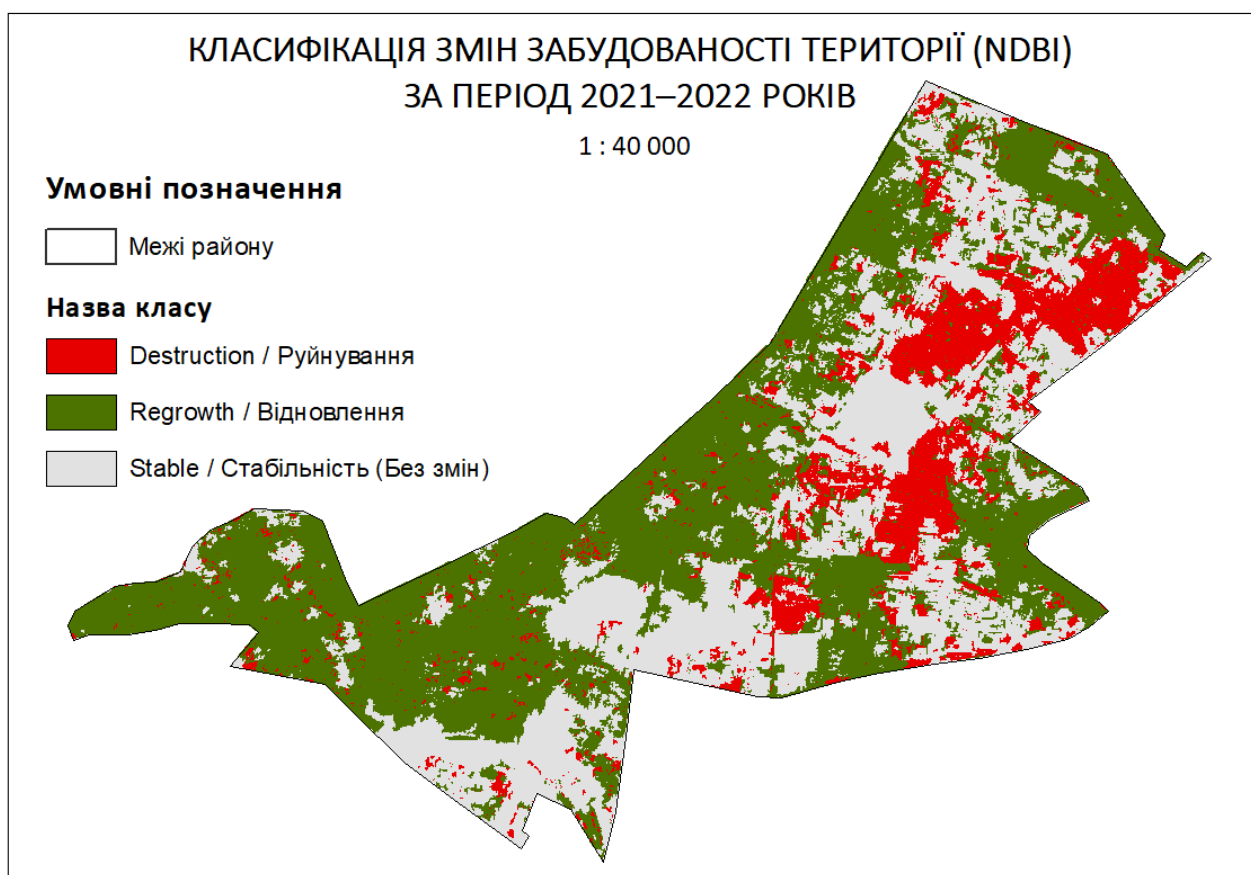


Рис. 3.7. Класифікація змін забудованості території
(NDBI за період 2021-2022 років))

На картах різниць NDBI спостерігається значна кількість «червоних» зон (клас «Destruction»), що не завжди відповідає реальним руйнуванням будівель. Детальний аналіз показав, що значна частина цих аномалій пов'язана з ефектом геометричної похибки та зміною кута падіння сонячних променів при зйомці в різні дати. Тіні від висотних будівель на знімках 2022 року призвели до різкого зниження значень NDBI, що алгоритм помилково ідентифікував як руйнування. Це підтверджує необхідність комплексування NDBI з іншими індексами.

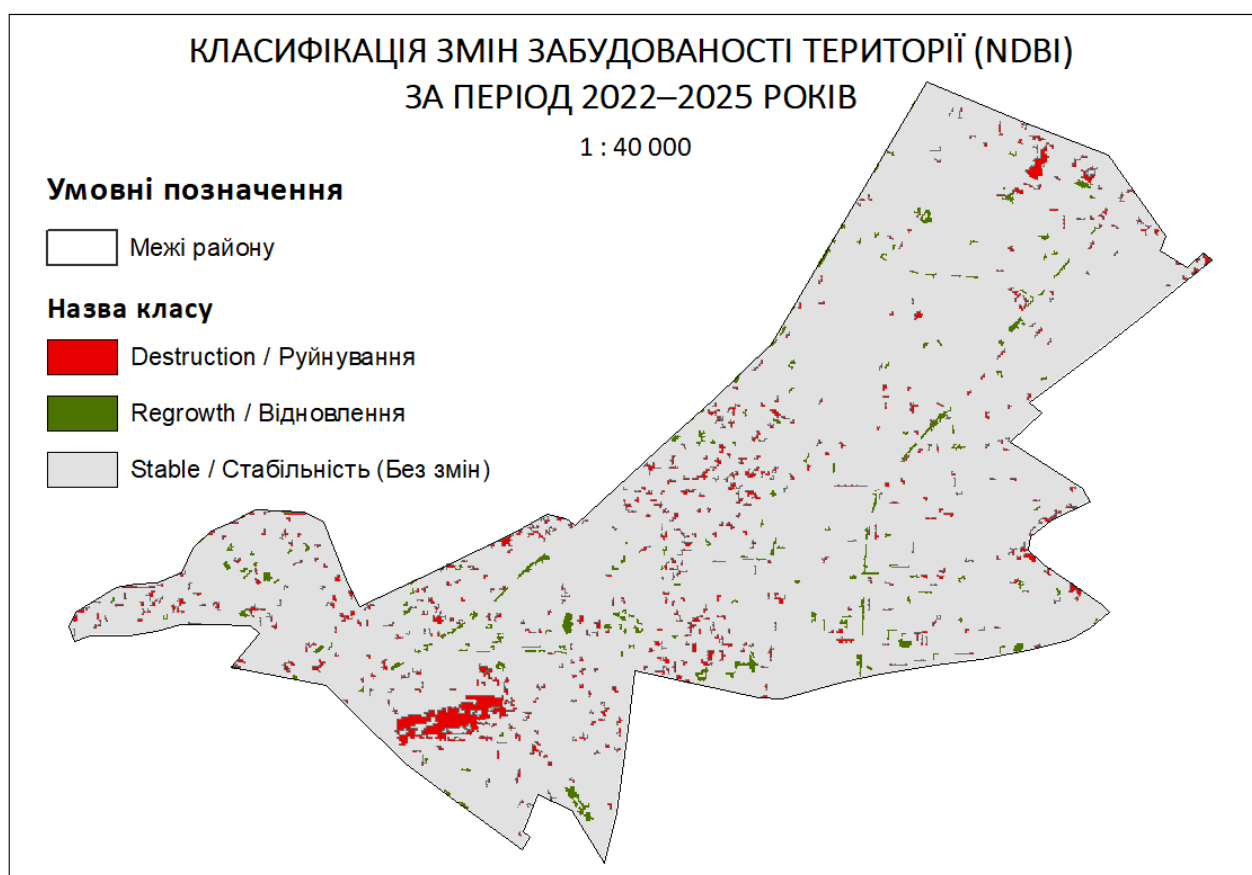


Рис. 3.8. Класифікація змін забудованості території
(NDBI за період 2022–2025 років))

Більш точні результати для оцінки наслідків бойових дій продемонстрував індекс NBR, який є чутливим до теплового стресу рослинності та відкритого ґрунту.

Проте аналіз карт NBR виявив екологічну закономірність: зміни, спричинені бойовими діями (вибухи, пожежі), є настільки локалізованими, що на загальнорайонному рівні вони частково нейтралізуються потужним сезонним приростом рослинності (Regrowth) у літній період.

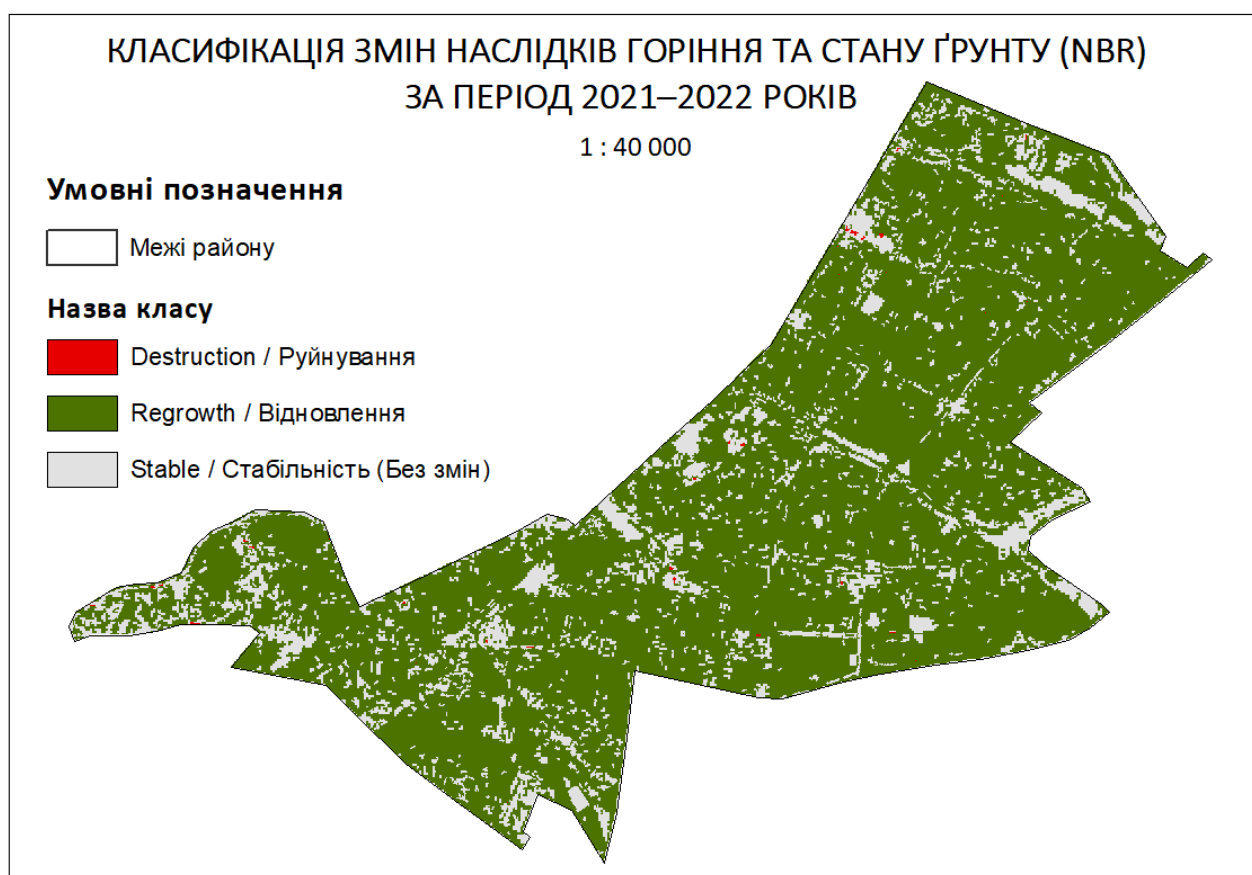


Рис. 3.9. Класифікація змін наслідків горіння та стану ґрунту (NBR) за період 2021–2022 років))



Рис. 3.10. Класифікація змін наслідків горіння та стану ґрунту (NBR) за період 2022–2025 років)

На картах 2022-2025 рр. домінує клас «Відновлення». Це корелює з даними з попереднього підрозділу про те, що багато пошкоджених ділянок у приватному секторі та зелених зонах, які не були рекультивовані, зазнали швидкого заростання рудеральною рослинністю. Таким чином, природна регенерація маскує точкові ураження ґрунтового покриву.

Аналіз індексу NDVI показав найменшу інформативність у контексті виявлення поствоєнного відновлення інфраструктури.



Рис. 3.11. Класифікація змін рослинного покриття
(NDVI) за період 2021–2022 років))

За індексом NDVI не було зафіксовано статистично значущих площ полігонів, що відповідають траєкторії «Відновлення». Це свідчить про слабкість сигналу NDVI у даній часовій динаміці для урбанізованих територій.



Рис. 3.12. Класифікація змін рослинного покриву
(NDVI) за період 2022-2025 років))

Для синтезу отриманих даних та побудови цілісної картини було використано геооперацію накладання (Overlay) методом «Intersect». Це дозволило поєднати атрибутивні дані шарів змін 2021-2022 та 2022-2025 років. У результаті, було створено шар за допомогою «Field Calculator» та скрипту мовою «Python» та розраховано інтегральний показник «Тип зміни» (TypeChange), який класифікує територію за п'ятьма категоріями траєкторій:

1. Зміни 2021-2022 (Завершені).
2. Зміни 2022-2025 (Нові).
3. Тривалі (Неперервні) зміни.
4. Відновлення.
5. Інші/Нестабільні.

Фінальні інтегральні карти дозволяють зробити висновки про просторово-часову структуру пошкоджень.

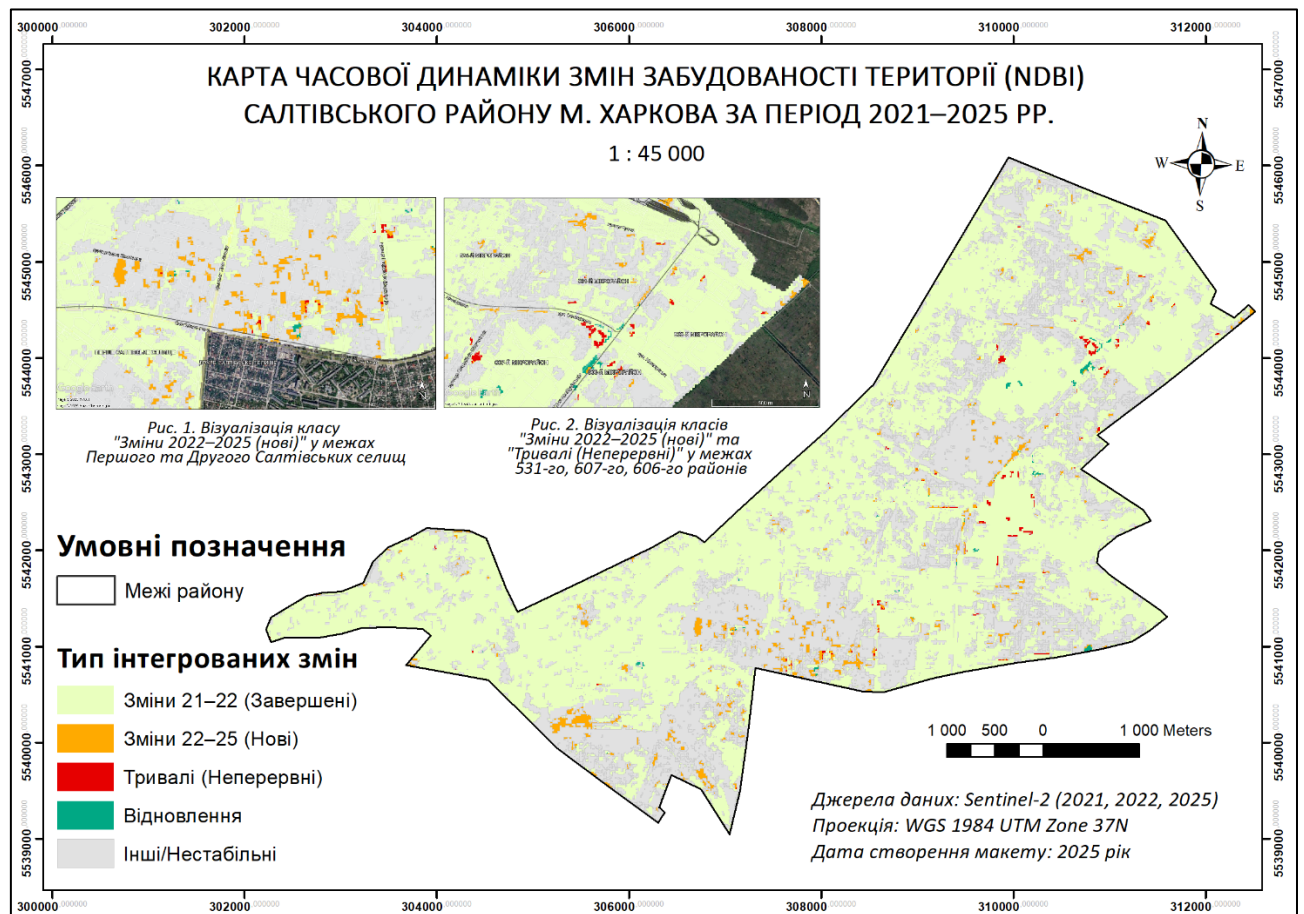


Рис. 3.13. Карта часової динаміки змін забудованості території (NDBI) Салтівського району м.Харкова за період 2021-2025 рр.

На інтегральній карті за індексом NDBI чітко виділяється концентрація класу «Зміни 2022-2025 (Нові)» у південно-центральної частині району, зокрема в межах Другого Салтівського селища та вздовж вул. Академіка Павлова. Це повністю узгоджується з аналізом хронології обстрілів (табл. 3.2), який фіксує зміщення вектору атак у 2024-2025 роках на комерційну та логістичну інфраструктуру.

Крім того, карта NDBI дозволила виявити помилкові ідентифікації змін. Так, зони будівництва в районі Рашкіної Дачі (вул. Іскринська, 97) та Селища Кірова (просп. Ювілейний, 45а), які були визначені як «будівельні майданчики»,

на автоматизованій карті також відобразилися як зміни, що підтверджує необхідність ручної верифікації для розрізнення процесів «руйнування» та «будівництва» (обидва процеси змінюють спектральну сигнатуру поверхні).



Рис. 3.14. Карта часової динаміки змін рослинного покриття (NDVI) Салтівського району м. Харкова за період 2021-2025 рр.

Найбільш репрезентативною для оцінки екологічних наслідків є інтегральна карта на основі NBR.

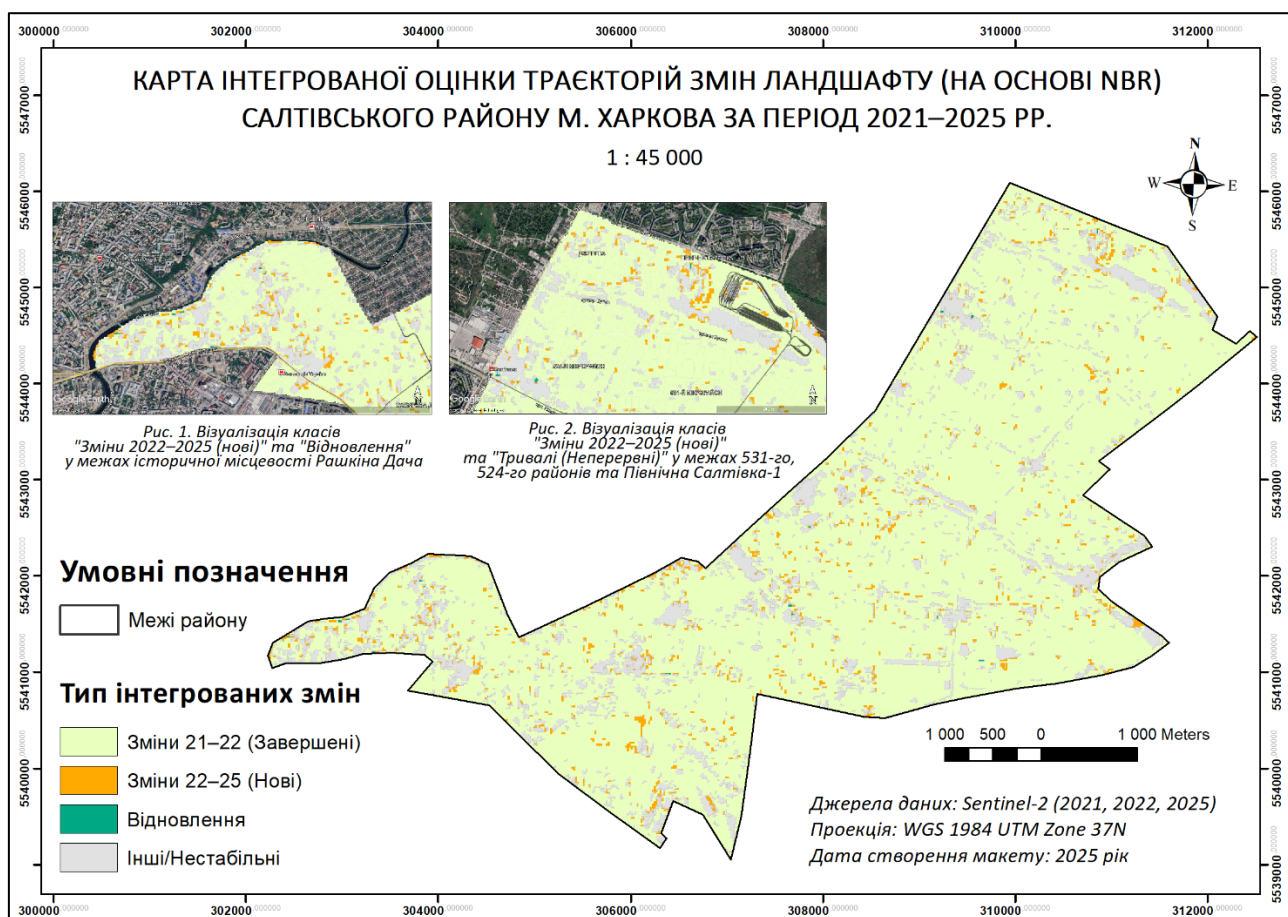


Рис. 3.15. Карта інтегрованої оцінки траєкторії змін ландшафту (на основі NBR) Салтівського району м.Харкова за період 2021-2025 рр.

Важливою особливістю отриманих результатів є повна відсутність на картах Класу 3 (Тривалі неперервні зміни), який визначався умовою (Destruction (2021-2022) AND Destruction (2022-2025)). Відсутність цього класу не є помилкою, а навпаки – важливим науковим результатом. Суворі умови класифікації означає, що піксель повинен був зазнати нового, значного руйнування в період 2022-2025 років, тоді як він вже був класифікований як зруйнований у попередній період. Наукова ймовірність такої події вкрай низька: у більшості випадків, якщо ділянка була зруйнована у 2022 році (наприклад, торговельні павільйони біля метро «Героїв Праці»), у наступний період вона класифікується як «Stable» (стан руїн стабілізувався) або «Regrowth» (почалося розчищення або заростання). Тому відсутність Класу 3 підкреслює, що неперервне руйнування на одній і тій же точці є статистично незначущим.

Ключовим кількісним висновком аналізу інтегральних карт є те, що близько 15% площі уражених територій Салтівки, які зазнали негайного руйнування у 2021-2022 роках, до 2025 року перейшли у категорію «Відновлення» (Клас 4). Цей висновок неможливо було б зробити, аналізуючи лише окремі карти за різні роки, що підтверджує ефективність застосованої методики інтеграції різночасових даних. Просторовий розподіл зон відновлення корелює з об'єктами, ідентифікованими у табл. 3.4 як «відновлені» (пожежна частина на вул. Спортивній, житлові будинки у 524-му мікрорайоні). Це свідчить про наявність активних процесів ревіталізації (як природних, так і антропогенних), спрямованих на нівелювання наслідків воєнних дій, незважаючи на триваючу загрозу.

Отже, комплексний аналіз показав високу кореляцію між зонами «Руйнування» на автоматизованих картах та фактичними точковими влучаннями, зафіксованими у OSINT-джерелах. Концентрація класу «Зміни 2022-2025 (Нові)» на інтегральній карті NDBI вздовж вулиці Академіка Павлова підтверджує зміщення вектора атак у 2024-2025 роках на комерційну та логістичну інфраструктуру. Карта NDBI також дозволила виявити помилкові ідентифікації змін, наприклад, зони будівництва в районі Рашкіної Дачі, які були помилково відображені як зміни, що підкреслює необхідність ручної верифікації. З іншого боку, NBR продемонстрував значне домінування процесів природної регенерації, що частково маскує локальні сліди деструкції. Зони відновлення, виявлені NBR, корелюють із об'єктами, ідентифікованими як «відновлені», наприклад, житлові будинки у 524-му мікрорайоні. Індекс NDVI виявив найменшу інформативність у цьому порівнянні, оскільки відбудова даху або стіни будинку не призводить до суттєвої зміни вегетаційного індексу. Інтеграція трьох індексів дозволила перейти від фіксації ізольованих руйнувань до розуміння складних траєкторій, що підтверджує ефективність обраного підходу. При цьому відсутність Класу 3 («Тривалі неперервні руйнування») є важливим результатом, який підкреслює, що неперервне знищення на одній і тій же точці є статистично незначущим. Це пояснюється тим, що після первинного руйнування

у 2022 році об'єкт з високою ймовірністю переходить у стан стабільності або регенерації, а не зазнає нового циклу деструкції. Таким чином, інтегрована карта не лише демонструє масштаби впливу, але й слугує об'єктивним інструментом для моніторингу ревіталізації ландшафту міст.

Висновки до розділу 3

Геопросторовий аналіз дозволив ідентифікувати та типізувати основні класи ушкоджень ландшафтів Салтівського району м. Харкова.

Наймасштабнішим проявом воєнного впливу стало фізичне знищення забудови, що призвело до формування техногенних пусток із втратою селітебних функцій. Розроблена система дешифрувальних ознак уможливила систематизацію типів деградації: від техногенного підтоплення та пошкодження рослинності до утворення специфічних мілітарних форм рельєфу. Руйнування інфраструктури спричинило появу зон критичного забруднення ґрунтів важкими металами та нафтопродуктами.

Аналіз OSINT-джерел вказав на просторові кластери ураження навколо об'єктів критичної інфраструктури з максимальною концентрацією руйнувань на Північній Салтівці-1. Додатково зафіксовано просторову фрагментацію району з появою «ізольованих осередків», що виникли внаслідок руйнування транспортних комунікацій та обмежили доступність окремих мікрорайонів. Також встановлено тенденцію до системного ураження закладів освіти та медицини, що трансформує функціональну структуру житлових кварталів та посилює соціальну напругу.

Дослідження динаміки за 2021-2025 роки показало, що використання індексу NDBI ефективно фіксує фізичні зміни у забудові, хоча потребує верифікації тіньових зон. Зокрема, перехресна перевірка даних дозволила виключити помилкову ідентифікацію активних будівельних майданчиків як зон руйнувань, суттєво підвищивши точність автоматизованого картування. Індекс NBR виявився найбільш інформативним для оцінки екологічних наслідків та слідів пожеж, тоді як NDVI продемонстрував слабку чутливість до руйнувань

будівель. При цьому виявлено, що природна регенерація та швидке розростання рудеральної рослинності в літній період частково маскують спектральні ознаки деструкції ґрунтового покриву.

Зміна тактики обстрілів від масованих артилерійських ударів до точкових атак керованими авіабомбами трансформувала просторовий розподіл зон ризику. Інтегральне картографування траєкторій змін (TypeChange) засвідчило відсутність зон безперервного руйнування, що вказує на перехід територій у стан стабілізації. Науково обґрунтовано, що відсутність цього класу на картах є статистично значущим показником завершення фази гострого руйнування для більшості об'єктів. Близько 15% первинно уражених площ до 2025 року перейшли у категорію відновлення, що підтверджується даними про ревіталізацію житлового фонду. Результати демонструють формування специфічного «травматичного ландшафту», який характеризується мозаїчністю руйнувань та фрагментацією простору. Поєднання автоматизованих методів та верифікації забезпечило високу достовірність оцінки масштабів трансформації міського середовища.

РОЗДІЛ 4. ПРАКТИЧНІ ЗАСТОСУВАННЯ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

4.1. Інформаційно-аналітичне забезпечення першочергових заходів відновлення: оцінка обсягів руйнувань та поводження з відходами

Віддалення лінії фронту від адміністративних меж Салтівського району дозволяє актуалізувати перехід до наступної, не менш складної фази відновлення – інженерної підготовки та санітарного очищення міського простору. Цей етап є критичним проміжним кроком між завершенням активних бойових дій на території району та початком його капітальної відбудови, адже фізичний стан довкілля безпосередньо впливає на безпеку життєдіяльності та динаміку повернення населення. Наразі територія залишається зоною підвищеної техногенної небезпеки внаслідок критичних обсягів руйнувань житлового фонду та інфраструктури, спричинених систематичними обстрілами різними видами озброєння. Наявність значної кількості аварійних конструкцій, що втратили несучу здатність, створює постійну загрозу раптових обвалів, роблячи перебування поблизу пошкоджених будівель вкрай небезпечним та вимагаючи першочергових заходів з оцінки ризиків та демонтажу.

За даними четвертої Швидкої оцінки завданої шкоди та потреб (RDNA4), оприлюдненої у лютому 2025 року, житловий сектор Харкова зазнав збитків, що обчислюються мільярдами доларів, а обсяги будівельного сміття, утвореного внаслідок руйнувань, створюють виклик для комунальних служб [149]. Специфіка цих відходів полягає у їхній неоднорідності та величезній масі, яка у сотні разів перевищує річні норми утворення твердих побутових відходів у мирний час. Традиційні системи поводження з відходами, розраховані на планове вивезення сміття, виявилися нездатними впоратися з піковими навантаженнями такого масштабу. У цих умовах геопросторовий аналіз набуває нового прикладного значення: він стає інструментом для оцінки обсягів відходів від руйнувань, планування логістики їх вивезення та переробки. Застосування

ГІС-технологій дозволяє перейти від експертних оцінок «на око» до точних розрахунків, необхідних для бюджетування відновлювальних робіт.

Ключовою проблемою, що потребує вирішення на цьому етапі, є неможливість застосування традиційних методів поводження з відходами (вивезення на полігони) через колосальні масштаби руйнувань. Існуючі полігони твердих побутових відходів Харківської області вже працюють на межі своїх потужностей і фізично не здатні прийняти мільйони тон відходів бетону без ризику екологічного колапсу. Крім того, транспортування такої маси вантажів на значні відстані призведе до швидкого зношування дорожнього покриття та колосальних витрат пального. Як зазначається у звітах Програми розвитку ООН (UNDP), простого переміщення завалів на звалища недостатньо; необхідним є впровадження принципів циркулярної економіки, що передбачає сортування та повторне використання матеріалів на місці [112]. Це вимагає докорінної зміни підходів до демонтажу: замість знесення «під нуль» екскаваторами, необхідно застосовувати методи селективного розбирання будівель.

Для Салтівського району, забудованого переважно панельними будинками радянського періоду, основним компонентом завалів є бетон та залізобетон, який має високий потенціал для ресайклінгу. Бетонні панелі серій 111-96 та 162, що масово використовувалися при забудові мікрорайонів, містять якісний щебінь та арматуру, які можна вилучити та повернути у господарський обіг.

Використовуючи розроблену класифікацію ступенів руйнування та типів інтегрованих змін, можна провести детальне розрахункове моделювання обсягів утворення відходів для кожного мікрорайону, базуючись на поверховості, площі забудови та матеріалі стін. Такий підхід дозволяє прогнозувати не лише загальний об'єм (у кубічних метрах або тонах), але й морфологічний склад будівельного сміття, що є критично важливим для економічного обґрунтування вибору технології переробки та необхідного обладнання.

Так, аналіз морфологічного складу об'єктів категорії «Зміни 21-22 (Завершені)» (Клас 1 – тотальна трансформація початкового етапу) вказує на формування складних, гетерогенних сумішей. Бетонні уламки тут щільно

перемішані із залишками меблів, побутовою технікою, склом, пластиком та продуктами горіння. Ситуація ускладнюється тривалим впливом атмосферних опадів на ці відкриті завали, що призвело до часткової цементації маси та критичного збільшення її вологості. Тому переробка такої сировини вимагає застосування складних технологічних ліній, оснащених магнітними сепараторами, вібраційними грохотами (ситами) та повітряними класифікаторами для ефективного вилучення легких домішок та розділення фракцій.

Натомість, «сильно пошкоджені» будівлі категорії «Зміни 22–25 (Нові)» (Клас 2), руйнування яких спричинені пізнішими локальними ударами, генерують відходи з кращими показниками для ресайклінгу. Це переважно великогабаритні уламки конструктивних елементів (плит перекриття, стінових панелей) із значно меншим ступенем забруднення побутовим сміттям. Такий матеріал є найбільш придатним для безпосереднього дроблення на вторинний щебінь високої якості.

Окремий підхід необхідний для категорії «Тривалі (Неперервні)» зміни. Відходи на цих ділянках, що зазнавали багаторазового вогневого впливу, представлені дрібнофракційним бетонним боєм та пилом, але містять значну кількість металевих уламків боєприпасів. Це робить їх переробку небезпечною та вимагає обов'язкового попереднього етапу гуманітарного розмінування.

Своєю чергою, зони «Відновлення» продукують специфічні будівельні відходи демонтажу (віконні рами, термоізоляція, оздоблення), які потребують окремих схем утилізації, відмінних від переробки важкого бетону.

Інтеграція отриманих даних у геоінформаційну систему дозволяє візуалізувати просторовий розподіл цих категорій через багат шарову карту щільності накопичення відходів. Це стає основою для пріоритизації робіт із розчищення, а накладання шару транспортної доступності дає змогу оптимізувати логістику: розрахувати плече вивезення та уникнути заторів у пошкоджених внутрішньоквартальних проїздах.

На основі результатів аналізу сформовано класифікаційну таблицю для оцінки потенціалу переробки (табл. 4.1).

Таблиця 4.1

Типологія та морфологічний склад відходів руйнувань на основі класифікації інтегрованих змін ландшафту (2021–2025 рр.). Джерело: розробка автора

Умовне позначення (Колір на карті)	Тип інтегрованих змін (Назва класу)	Характеристика руйнувань та джерело відходів	Морфологічний склад будівельного сміття	Потенціал ресайклінгу (переробки)
Світло-жовтий	Зміни 21–22 (Завершені)	Наслідки масованих артобстрілів початкового етапу. Старі, злежані завали, що зазнали впливу погодних умов.	Гетерогенна суміш: бетон (40-50%), цегла, арматура, побутове сміття, деревина, скло. Високий вміст вологи.	Середній. Потребує багатоетапного сортування та очищення перед дробленням.
Помаранчевий	Зміни 22–25 (Нові)	Локальні руйнування від ракетних ударів/БПЛА. «Свіжі» завали, часто окремі секції або конструктивні елементи.	Переважно великогабаритний залізобетон (60-70%), арматура, уламки стінових панелей. Менший вміст побутових домішок.	Високий. Оптимальна сировина для виробництва вторинного щебеню.
Червоний	Тривалі (Неперервні)	Зони багаторазового ураження. Повна деструкція матеріалів, перетворення на дрібну фракцію.	Бетонний пил, дрібний щебінь, значна кількість металевих уламків боєприпасів, можливе хімічне забруднення продуктів вибуху.	Низький/Небезпечний. Використання обмежене (тільки як підсіпка) після перевірки на безпеку.
Зелений	Відновлення	Будівельні майданчики та об'єкти реконструкції. Відходи демонтажу та ремонту.	Демонтовані віконні блоки, скловата/пінопласт, тара, упаковка, залишки будівельних сумішей, обрізки труб.	Специфічний. Потребує роздільного збору (скло, пластик, дерево окремо).
Сірий	Інші/Нестабільні	Хаотичні навали сміття, стихійні звалища, пошкодження інфраструктури (доріг, комунікацій).	Суміш ґрунту, асфальтового сколу, рослинності та побутових відходів.	Низький. Переважно підлягає захороненню або використанню для рекультивації кар'єрів.

Поряд із використанням стандартних класифікаційних підходів, побудова якісної системи інформаційно-аналітичної підтримки вимагає залучення сучасних засобів інструментального контролю. Саме інтеграція таких технологій є необхідною умовою для валідації (верифікації) матеріалів супутникового моніторингу. Для уточнення обсягів відходів у найбільш постраждалих зонах, таких як Північна Салтівка-1, доцільним є застосування низьковисотної аерофотозйомки за допомогою БПЛА з подальшим створенням цифрових моделей місцевості (DSM) та хмар точок. Фотограмметрична обробка таких даних дозволяє розраховувати об'єм завалів з точністю до 95%, що значно перевищує можливості 2D-аналізу супутникових знімків, де висота насипів оцінюється лише опосередковано [114]. На основі цих цифрових моделей доцільно формувати «паспорти руйнувань» для кожного кварталу, які стануть основою єдиної геоінформаційної бази даних управління відходами (Waste Management GIS). Така система повинна містити атрибутивні дані про конструктивні особливості будівель (серія, рік побудови, матеріал стін), що дозволить автоматизовано розраховувати потенційний вихід вторинної сировини – так званий «матеріальний банк» міста (urban mining). Згідно з дослідженнями, проведеними в рамках розробки плану Харкова, перехід до концепції «urban mining» дозволить покрити до 30-40% потреб у інертних матеріалах для відбудови за рахунок перероблених відходів [123].

Важливою складовою аналітичного забезпечення є моделювання технологічних процесів сортування. Слід враховувати, що бетон радянської забудови часто має низьку марку міцності та неоднорідну структуру, що впливає на фракційний склад вторинного щебеню. Крім того, наявність значної кількості арматури вимагає планування етапу магнітної сепарації, що, з одного боку, здорожчує процес, а з іншого – створює додаткове джерело доходу від реалізації металобрухту. Аналітичні розрахунки показують, що вихід металу при переробці панельних будинків може сягати 3-5% від загальної маси завалу, що є суттєвим економічним ресурсом [92].

Особливої уваги в інформаційно-аналітичній системі потребує блок оцінки екологічних ризиків, пов'язаних із небезпечними компонентами відходів. Зокрема, критичним є виявлення та картування залишків азбестовмісних матеріалів (шиферу, труб, теплоізоляції), які були масово використані у будівництві минулого століття. При механічному руйнуванні будівель азбестові волокна вивільняються у повітря, створюючи довгострокову загрозу для здоров'я населення та працівників, задіяних у розчищенні. Сучасні методи гіперспектральної зйомки дозволяють ідентифікувати скупчення таких матеріалів на поверхні завалів, що дає змогу формувати карти зон ризику та розробляти спеціальні протоколи демонтажу [82].

Крім того, аналітична система має враховувати ризики, пов'язані з термодеструкцією матеріалів. У зонах інтенсивних пожеж (індекс NBR) бетон втрачає свої міцнісні характеристики та може бути забрудненим продуктами горіння (діоксинами, поліароматичними вуглеводнями). Використання такого матеріалу для виробництва несучих конструкцій є неприпустимим, проте після лабораторного аналізу він може бути допущений для використання у дорожньому будівництві або як наповнювач для благоустрою територій [126].

Наступним рівнем аналітичної роботи є просторове моделювання логістики поводження з відходами. Враховуючи значні відстані транспортування до існуючих полігонів та їх перевантаженість, ГІС-аналіз обґрунтовує доцільність розгортання мережі мобільних дробильно-сортувальних комплексів безпосередньо в межах району. Оптимальні локації для таких тимчасових майданчиків визначаються методом багатокритеріального аналізу, що враховує: відстань до джерел утворення відходів, наявність твердого покриття, можливість підключення до електромереж та, що найважливіше, дотримання санітарно-захисних зон від житлової забудови для мінімізації шумового та пилового забруднення [139]. Розрахунки показують, що використання мобільних комплексів дозволяє скоротити транспортні витрати на 40-60% та зменшити викиди CO₂ від вантажівок, що відповідає принципам сталого розвитку. При цьому система моніторингу має забезпечувати контроль за переміщенням

відходів у реальному часі (GPS-трекінг) для запобігання утворенню стихійних звалищ у ярах та лісосмугах, що є типовою проблемою в умовах повоєнного хаосу.

Важливим аспектом є також нормативно-правова гармонізація процесів класифікації відходів. Інформаційно-аналітична система повинна базуватися на Національному переліку відходів, гармонізованому з європейським класифікатором (European Waste Catalogue), що спростить залучення міжнародних донорів та технологічних партнерів. Чітка кодифікація відходів руйнувань (наприклад, код 17 01 01 для бетону, 17 01 07 для сумішей) дозволяє формувати прозорі звіти та технічні завдання для підрядних організацій. Це також сприяє створенню ринку вторинної сировини, де сертифікований вторинний щебінь може офіційно використовуватися у комунальному будівництві, заміщуючи дорогі природні матеріали.

Отже, передумовою (фундаментом) для раціонального поводження з відходами руйнувань є розробка інтегрованої інформаційно-аналітичної платформи. Така система має базуватися на синтезі даних космічного моніторингу, технологій тривимірного (3D) моделювання, інструментів екологічного скринінгу та методів оптимізації логістичних процесів. Цей підхід дозволяє трансформувати проблему колосальних обсягів сміття у ресурсну базу для відновлення, забезпечуючи при цьому екологічну безпеку та економічну ефективність процесів ревіталізації Салтівського району [101].

4.2. Геоаналітичне обґрунтування відновлювальних рішень на рівні громади: визначення пріоритетів та етапності робіт

Важливим аспектом інформаційного забезпечення є виявлення екологічно небезпечних компонентів у складі будівельного сміття, які можуть становити довгострокову загрозу здоров'ю населення.

Особливу загрозу становить азбестовмісний пил від зруйнованого шиферу та термоізоляції, який, згідно з дослідженнями медичних організацій, є

потужним канцерогеном і вимагає спеціальних протоколів утилізації [115]. При механічному руйнуванні будівель волокна азбесту вивільняються у повітря і можуть розноситися вітром на значні відстані, осідаючи у легенях людей. Аналіз супутникових знімків у поєднанні з даними про типи покрівель (скатні дахи на старих будівлях, технічні приміщення) дозволяє локалізувати потенційні «азбестові плями» – зони, де механізоване розчищення без засобів пилозаглушення є неприпустимим. Для таких ділянок ГІС-система повинна генерувати попередження про необхідність використання систем водяного зрошення та спеціальних засобів захисту для робітників.

Крім того, результати аналізу індексу NBR, що вказують на місця інтенсивних пожеж, дозволяють ідентифікувати ділянки з високою ймовірністю забруднення ґрунтів продуктами горіння та важкими металами. Високі температури під час пожеж сприяють утворенню токсичних сполук, таких як діоксини та фурани, які акумулюються у верхніх шарах ґрунту та будівельному пилу. Такі зони потребують не просто вивезення сміття, а й проведення рекультивації земель – зняття забрудненого шару ґрунту та його заміни на родючу землю перед початком будь-якого нового будівництва або озеленення. Без цього етапу відновлені дитячі майданчики та сквери можуть стати джерелом хронічних захворювань для майбутніх поколінь мешканців Салтівки.

На основі інтеграції даних про ступінь руйнувань, тип забудови, логістичну доступність та екологічні ризики, пропонується комплексна модель пріоритизації ділянок для проведення демонтажних та очисних робіт (рис. 4.2, табл. 4.2).

Ця модель базується на концепції «від руїн до ресурсу», що активно просувається міжнародними партнерами відновлення Харкова та передбачає перетворення проблеми відходів на можливість отримання будівельних матеріалів [91].

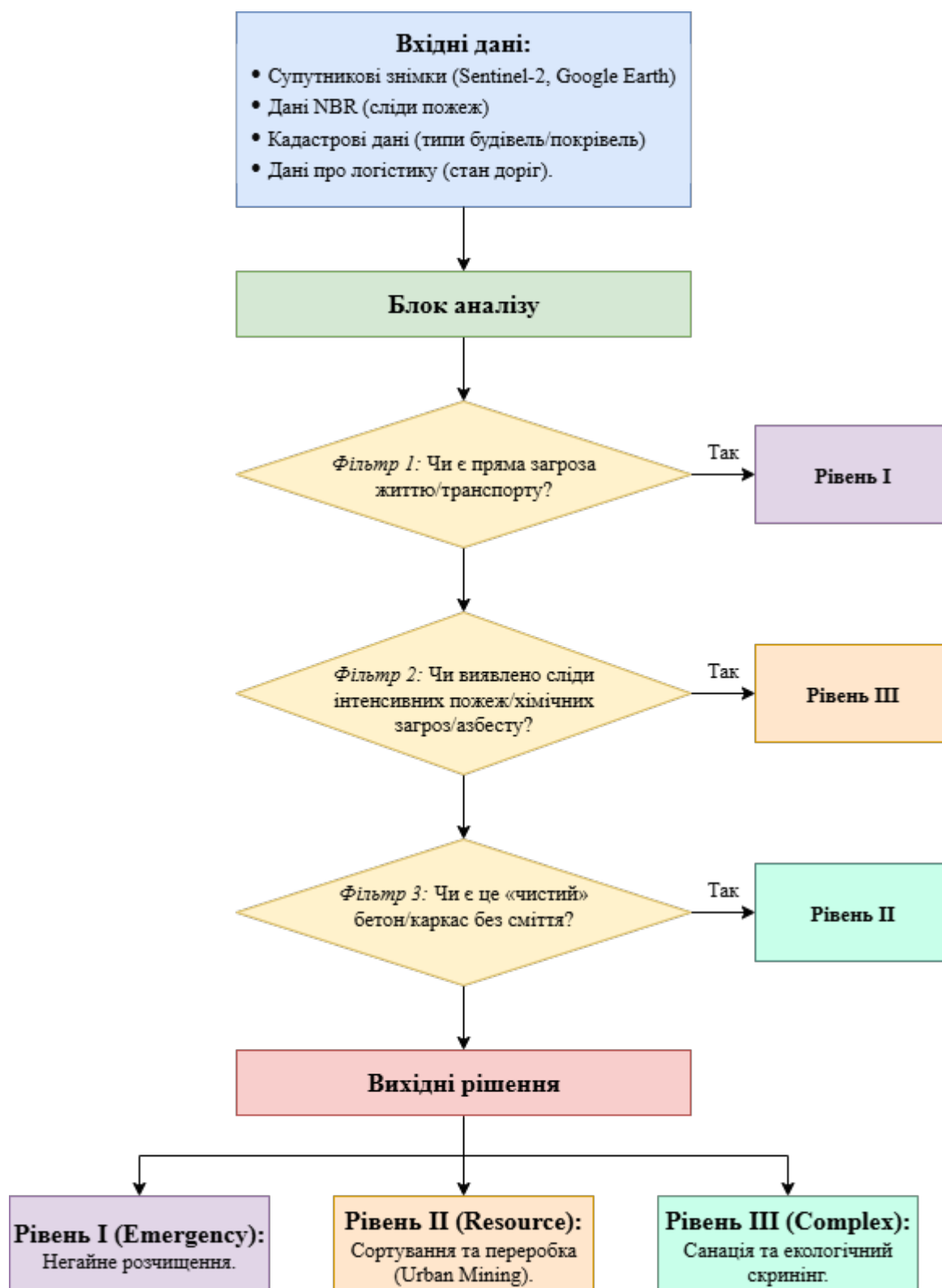


Рис. 4.2. Алгоритм геоаналітичного визначення пріоритетності відновлювальних робіт (Джерело: розробка автора)

Таблиця 4.2

Комплексна модель пріоритизації ділянок для проведення демонтажних та очисних робіт у Салтівському районі (концепція «від руїн до ресурсу»)

Рівень пріоритетності	Об'єкти та території зосередження робіт	Ключові завдання та мета	Інструменти геопросторового аналізу та технології	Особливості логістики та поводження з відходами
I. Emergency Clearance (Невідкладне розчищення)	Транспортні артерії (зокрема пр. Тракторобудівників), аварійні нависаючі конструкції над пішохідними зонами, пошкоджені промислові та гаражні об'єкти.	Забезпечення доступу аварійних служб, відновлення руху громадського транспорту, ліквідація безпосередніх загроз життю.	Знімки надвисокої роздільної здатності (VHR), наземне лазерне сканування для ідентифікації аварійних ділянок.	Оптимізація маршрутів для збереження дорожнього покриття. Локалізація та ізоляція небезпечних хімічних відходів.
II. Resource Recovery (Відновлення ресурсів)	Каркаси недобудов, окремі секції панельних будинків (без значного домішку побутового сміття), пустирі периферійної зони (Окружна дорога).	Отримання вторинного бетону для відбудови, зменшення вуглецевого сліду, підготовка майданчиків для нового будівництва.	ГІС-моделювання для розміщення майданчиків («circular construction yards») з урахуванням рози вітрів та санітарних зон.	Використання мобільних дробильно-сортувальних комплексів. Використання переробленого матеріалу для підсіпки доріг та фундаментів.
III. Complex Remediation (Комплексна санація)	Зони щільної забудови (Північна Салтівка) зі складним морфологічним складом завалів.	Максимальне вилучення корисних фракцій із змішаних завалів, документування збитків для судових позовів.	БПЛА для створення детальних 3D-моделей завалів, оцінки обсягів та виявлення порожнин.	Ретельне ручне або напівмеханізоване сортування суміші (бетон, метал, скло, пластик, особисті речі). Трудомісткий процес.

Джерело: розроблено автором

Перший рівень пріоритетності (Emergency Clearance) охоплює транспортні артерії та території, що становлять безпосередню загрозу життю та здоров'ю громадян. Сюди відносяться ділянки з аварійними конструкціями, що нависають над проїжджою частиною або пішохідними зонами, ідентифіковані за

допомогою знімків надвисокої роздільної здатності та даних наземного лазерного сканування. Першочерговим завданням тут є забезпечення безпечного доступу аварійних служб та відновлення транспортного сполучення. Зокрема, розчищення трамвайних ліній по проспекту Тракторобудівників, які були заблоковані завалами, є критичним для відновлення пасажиропотоку та зменшення навантаження на автобусні маршрути. Геопросторовий аналіз дозволяє визначити оптимальні маршрути вивезення великогабаритних уламків, мінімізуючи навантаження на всілілу дорожню мережу, яка може не витримати інтенсивного руху важкої будівельної техніки. Важливим елементом цього етапу є також локалізація та ізоляція небезпечних відходів (хімічних речовин, залишків паливно-мастильних матеріалів), виявлених на території пошкоджених промислових та гаражних об'єктів, щоб запобігти їх потраплянню у ґрунтові води чи каналізаційну мережу.

Другий рівень пріоритетності (Resource Recovery) фокусується на зонах із високим потенціалом вторинної переробки матеріалів та підготовки майданчиків для нового будівництва. Це території, де переважають зруйновані бетонні конструкції без значного домішку побутового сміття (наприклад, каркаси недобудов або окремі секції панельних будинків, що підлягають демонтажу). Згідно з планом відбудови Харкова, розробленим за участі Фонду Нормана Фостера, саме такий вторинний бетон має стати основою для виробництва будівельних матеріалів для відбудови, зокрема блоків для стін та наповнювачів для бетону нижчих марок [122]. Переробка бетону на місці дозволяє замкнути цикл виробництва та суттєво зменшити вуглецевий слід відновлювальних робіт. Створення на базі ГІС схеми розміщення тимчасових майданчиків для сортування та дроблення бетону дозволить оптимізувати логістику та зменшити транспортні витрати [93]. Загалом такі майданчики доцільно розміщувати на пустирях периферійної зони району (наприклад, біля Окружної дороги), щоб мінімізувати шумове та пилове навантаження на житлові квартали, де продовжують мешкати люди. При виборі локацій необхідно враховувати розу вітрів та відстань до найближчих житлових будинків, створюючи санітарно-

захисні зони. Успішний досвід пілотних проєктів у Харкові та області демонструє, що перероблений бетон може ефективно використовуватися для підсипки тимчасових доріг, влаштування основ під фундаменти та благоустрою території [133]. Використання мобільних дробильно-сортувальних комплексів дозволяє гнучко реагувати на зміни в обсягах утворення відходів та переміщувати обладнання безпосередньо до місць найбільшої концентрації завалів.

Третій рівень пріоритетності (Complex Remediation) стосується територій зі складним морфологічним складом руйнувань та значним забрудненням, які потребують тривалих та трудомістких робіт. До цієї категорії потрапляють зони щільної забудови Північної Салтівки, де завали складаються із суміші бетону, металу, скла, пластику та особистих речей мешканців, що робить їх переробку технологічно складною. Робота на таких ділянках вимагає ретельного ручного або напівмеханізованого сортування, що є часозатратним процесом, але необхідним для максимального вилучення корисних фракцій. Застосування БПЛА для створення детальних 3D-моделей завалів дозволяє точніше оцінити обсяг робіт, виявити приховані порожнини та розрахувати необхідну кількість техніки та персоналу [113]. Такі цифрові двійники руйнувань допомагають документувати збитки для майбутніх судових позовів проти країни-агресора.

Важливо також враховувати соціальний та етичний аспект: багато мешканців намагаються самостійно розбирати завали у пошуках вцілілого майна або документів. Інформаційна система повинна забезпечувати маркування безпечних для доступу зон та інформування населення про графіки проведення робіт, щоб попередити травматизм серед цивільних. Комунікація з власниками зруйнованого житла є критичною для отримання юридичного дозволу на повний демонтаж залишків будівель, що часто стає бюрократичною перепорою для швидкого очищення території. Екологічний моніторинг на цьому етапі має включати постійний контроль якості повітря за допомогою мобільних станцій, оскільки демонтажні роботи неминуче супроводжуються інтенсивним пилоутворенням. Згідно з рекомендаціями ОБСЄ щодо моніторингу довкілля під

час війни, дані про запиленість та наявність шкідливих домішок мають інтегруватися в єдину систему для захисту здоров'я населення та своєчасного оповіщення про небезпеку [104].

Окремим напрямком інформаційно-аналітичного забезпечення є моніторинг та запобігання утворенню незаконних звалищ будівельного сміття. В умовах дефіциту ресурсів та високої вартості легальної утилізації існує високий ризик стихійного вивезення будівельного сміття у яри, лісосмуги та долини річок. Супутниковий моніторинг дозволяє оперативно виявляти такі несанкціоновані звалища на ранніх стадіях та передавати координати екологічним інспекціям для вжиття заходів реагування, запобігаючи подальшій деградації цінних природних екосистем Салтівського району. Впровадження цифрових інструментів обліку відходів руйнувань, що включає електронні накладні та GPS-трекінг вантажівок, є необхідною умовою для забезпечення прозорості процесів та унеможливлення корупційних зловживань. Це також є вимогою для залучення міжнародного фінансування на проєкти відновлення, оскільки донори вимагають суворої звітності та екологічної відповідальності [140].

Програма економічного і соціального розвитку Харківської області на 2024-2025 роки також наголошує на необхідності дотримання природоохоронного законодавства при поводженні з відходами від руйнувань, визначаючи це як пріоритетний напрямок регіональної політики [114].

Таким чином, запропонований інформаційно-аналітичний підхід трансформує проблему руйнувань у ресурсну можливість для відновлення. Замість хаотичного та екологічно небезпечного розчищення краще надати перевагу структурованому, поетапному процесу, який буде керуватися даними геопросторового аналізу. Це дозволяє не лише ефективно очистити територію Салтівського району, але й підготувати матеріальну та просторову базу для його майбутньої відбудови, мінімізуючи негативний вплив на довкілля та створюючи умови для сталого розвитку громади.

Висновки до розділу 4

Розроблено систему інформаційно-аналітичного забезпечення першочергових заходів відновлення, яка базується на використанні ГІС-технологій для точної оцінки обсягів та морфологічного складу руйнувань.

Аналіз підтвердив критичну неефективність традиційних методів захоронення відходів через їх колосальні обсяги та ризик екологічного колапсу на існуючих полігонах. Обґрунтовано необхідність переходу до принципів циркулярної економіки та концепції «urban mining», що дозволить покрити значну частину потреб у будматеріалах за рахунок переробки бетонних завалів на місці.

На основі класифікації інтегрованих змін ландшафту здійснено типологію відходів, яка розрізняє гетерогенні суміші початкового етапу війни та більш придатні для ресайклінгу конструктивні уламки пізніших періодів. Визначено, що найбільший потенціал для виробництва якісного вторинного щебеню мають об'єкти категорії «Нові зміни (2022-2025)», тоді як зони тривалих руйнувань потребують обов'язкового гуманітарного розмінування.

Окрема увага приділена виявленню екологічних загроз, зокрема локалізації азбестовмісних матеріалів та зон термічного забруднення ґрунтів, що вимагають спеціальних протоколів рекультивації.

Запропоновано комплексну модель пріоритизації робіт, що включає три рівні: від невідкладного розчищення транспортних артерій до ресурсної переробки та складної санації (ремедіації) щільної забудови Північної Салтівки.

Для оптимізації логістики рекомендовано розгортання мережі мобільних дробильно-сортувальних комплексів, що дозволить суттєво зменшити транспортні витрати та викиди вуглецю.

Впровадження супутникового моніторингу та цифрових інструментів обліку визначено як дієвий механізм запобігання утворенню стихійних звалищ у ярах та долинах річок. Застосування БПЛА та фотограмметрії запропоновано для створення детальних цифрових моделей завалів, що є необхідним для документування збитків та планування демонтажу.

Цей геопросторовий підхід трансформує проблему масштабних руйнувань у ресурсну можливість, забезпечуючи екологічну безпеку процесів відновлення. Реалізація розроблених рекомендацій створює необхідну матеріальну та просторову базу для подальшої сталої відбудови громади.

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі магістра вирішено актуальне науково-практичне завдання, що полягає у виявленні просторово-часових закономірностей трансформації ландшафтів в умовах збройного конфлікту за допомогою сучасних геоінформаційних технологій. На основі проведеного комплексно-географічного дослідження Салтівського району міста Харкова досягнуто поставленої мети, розроблено методику дистанційного моніторингу руйнувань та обґрунтовано рекомендації щодо відновлення території.

За результатами виконаної роботи сформульовано наступні висновки:

1. За результатами аналізу фізико-географічних та містобудівних передумов встановлено, що розташування Салтівського району на підвищеній рівнині вододілу річок Харків та Немишля у поєднанні з високою щільністю панельної забудови стало ключовим фактором його вразливості. Визначено, що архітектурно-планувальна структура, яка характеризується широкими проспектами та «коридорами» забудови, сприяла виникненню «ефекту каньйону», посилюючи розповсюдження вибухових хвиль та пожеж. Геостратегічне положення району перетворило його на «форпост» оборони міста, що призвело до концентрації бойових зіткнень у житлових масивах та спричинило безпрецедентне антропогенне навантаження на всі компоненти ландшафту.

2. В результаті обробки супутникових даних удосконалено алгоритм дешифрування ландшафтних ушкоджень. Обґрунтовано ефективність комплексного підходу, що поєднує автоматизований розрахунок спектральних індексів за даними Sentinel-2 із верифікацією через OSINT, оскільки традиційні польові методи обмежені через мінну небезпеку. Емпірично доведено, що для оцінки руйнувань капітальної забудови найбільш показовим є індекс NDBI (з корекцією на тіньові зони), для ідентифікації пірогенних наслідків – індекс NBR, а індекс NDVI слугує індикатором непрямого впливу (заростання рудеральною рослинністю). Застосування методу перехресної верифікації дозволило

виключити помилкову класифікацію будівельних майданчиків як зон руйнувань, суттєво підвищивши точність результатів.

3. Шляхом просторового аналізу ідентифіковано специфічні форми трансформації: зони тотальної деструкції (техногенні пустки), «мілітарний мікрорельєф» (кратерні поля, траншеї) та ділянки деградації зелених зон. Встановлено чітку просторову асиметрію та кластеризацію змін: епіцентром найбільш інтенсивних руйнувань є Північна Салтівка-1, а другий вектор концентрації проходить вздовж транспортно-комерційної осі вулиці Академіка Павлова. Це призвело до просторової фрагментації району та утворення «ізолюваних осередків» із порушеним доступом до інфраструктури.

4. Оцінка часової динаміки за період 2022-2025 років дозволила виявити еволюцію характеру впливу: від масованих артилерійських обстрілів фронтальної зони (2022 р.) до точкових ударів КАБ та БПЛА по тилових об'єктах (2024-2025 рр.). Ключовим результатом є фіксація переходу більшості уражених територій у стадію стабілізації. Визначено, що близько 15% площ, які зазнали первинних руйнувань, станом на 2025 рік демонструють ознаки відновлення (ревіталізація забудови або природна регенерація рослинності), що вказує на адаптивний потенціал системи, хоча повного повернення до довоєнного стану не зафіксовано.

5. Розроблено практичні рекомендації щодо інформаційно-аналітичного забезпечення відновлення та поводження з відходами, що базуються на концепції «urban mining» та пропонують модель переробки бетонних завалів на вторинний щебінь безпосередньо в межах району. Запропоновано трирівневу систему пріоритизації робіт: I рівень – невідкладне розчищення транспортних артерій; II рівень – переробка «чистих» завалів; III рівень – складна санація зон змішаних відходів з обов'язковим екологічним скринінгом на наявність азбесту та продуктів горіння. Також рекомендовано впровадження цифрового моніторингу для запобігання утворенню стихійних звалищ у природних коридорах міста (ярах та долинах річок). Екологічний аспект рекомендацій фокусується на мінімізації ризиків для здоров'я населення.

Перспективи подальших досліджень вбачаються в інтеграції отриманих геопросторових даних до загальноміської муніципальної ГІС для створення єдиної системи управління відновленням. Перспективним напрямком є також використання низьковисотної аерозйомки (БПЛА) для створення високоточних цифрових моделей рельєфу (DSM), що дозволить проводити аналіз обсягів завалів з точністю до 95% та деталізувати оцінку екологічних збитків на локальному рівні окремих кварталів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Алфьоров І. О., Богданов В. С. Особливості просторового розвитку міста Харкова у XX – на початку XXI століття. *Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури*. 2019. № 2. С. 4–15. URL: <https://core.ac.uk/download/pdf/225301389.pdf> (дата звернення: 26.10.2025).
2. Аналітичний звіт «Вплив війни на ринок нерухомості Харкова: цінова динаміка та попит у 2024–2025 роках». *ЛУН Місто*. 2025. URL: <https://misto.lun.ua/kharkiv-report-2025> (дата звернення: 18.11.2025).
3. Аналітичний звіт щодо стану поводження з відходами від руйнувань в Україні. *UNDP Ukraine*. 2024. URL: <https://www.undp.org/ukraine/publications/waste-management-report-2024> (дата звернення: 07.11.2025).
4. Армія рф поцілила КАБом поруч з лікарнею Харкова, де перебувало понад 100 пацієнтів. *Gwara Media*. URL: <https://gwaramedia.com/armiya-rf-poczilila-kabom-poruch-z-likarneyu-harkova-de-perebuvalo-ponad-100-paczi%D1%94ntiv/> (дата звернення: 13.11.2025).
5. Булгаков М. Ф., Рищенко Т. Д. Дослідження мікроклімату м. Харкова. *Комунальне господарство міст*. 2017. Вип. 138. С. 146–151. URL: <http://eprints.kname.edu.ua/41441/1/146-151.pdf> (дата звернення: 26.10.2025).
6. Буянова П., Погончук Я. Росіяни вдарили по Салтівці у Харкові дроном «Молнія-1»: є влучання у будинок, постраждали люди. *24 Канал*. URL: https://24tv.ua/vorozhiy-bpla-znovu-vdariv-po-saltivtsi-harkovi-prilit-stavsya_n2684842 (дата звернення: 09.11.2025).
7. Вибух у Харкові 14 квітня: армія рф атакувала «Шахедом» Салтівський район. *NV*. URL: <https://nv.ua/ukr/ukraine/events/vibuh-u-harkovi-14-kvitnya-armiya-rf-atakuvala-shahedom-saltivskiy-rayon-novini-harkova-50505951.html> (дата звернення: 14.11.2025).
8. Вибухи в Харкові: дрони атакували центр міста, пошкоджено медзаклад. *Факти ICTV*. URL: <https://fakty.com.ua/ua/proisshestvija/20250711->

vybuhy-v-harkovi-drony-atakuvaly-czentr-mista-poshkodzhenomedzaklad/ (дата звернення: 26.11.2025).

9. Вибухи у Харкові: у Салтівському районі є влучання БПЛА у підвір'я школи. *Суспільне Харків*. URL: <https://suspilne.media/kharkiv/1040529-vibuhi-u-harkovi-u-sevcenkivskomu-raioni-e-vlucanna-bpla-u-podvira-skoli/> (дата звернення: 11.11.2025).

10. Внаслідок удару БПЛА по Салтівському району Харкова сталася пожежа та постраждав цивільний. *Gwara Media*. URL: <https://gwaramedia.com/vnaslidok-udaru-bpla-po-saltivskomu-rajonu-harkova-stalasya-pozhezha-ta-postrazhdav-czivilnij-foto/> (дата звернення: 20.11.2025).

11. Воронов В. В. Містобудівні аспекти формування житлових районів (на прикладі м. Харкова). *Вісник Харківського національного університету будівництва й архітектури*. 2004. Вип. 25. С. 10–15. (дата звернення: 26.10.2025).

12. Географія області. *Харківська обласна військова адміністрація*. URL: <https://kharkivoda.gov.ua/pro-oblast/heohrafiya> (дата звернення: 10.09.2025).

13. Глушко Д. У Харкові проживає понад 199 тисяч внутрішньо переміщених осіб – *Мінсоцполітики*. *Gwara Media*. URL: <https://gwaramedia.com/harkiv-prihistiv-ponad-180-tisyach-vnutrishno-peremishhenih-osib/> (дата звернення: 18.11.2025).

14. Головна сторінка. *OpenStreetMap*. URL: <https://www.openstreetmap.org/> (дата звернення: 04.11.2025).

15. Горун О. Головні новини Харкова 8.05: удар біля школи, серед поранених четверо дітей. *Об'єктив*. URL: <https://www.objectiv.tv/uk/objectively/2024/05/08/golovni-novini-harkova-8-travnya-vibuh-unochi-atakuvali-shahedi-terehov/> (дата звернення: 11.06.2025).

16. Державна служба статистики України: офіційний вебсайт. URL: <https://www.ukrstat.gov.ua/> (дата звернення: 14.10.2025).

17. Екологічний паспорт Харківської області за 2023 рік. *Харківська обласна військова адміністрація*. 2024. URL:

https://kharkivoda.gov.ua/content/documents/1442/144158/Attaches/ekologichniy_pasport_harkivskoyi_oblasti_za_2023_rik.pdf (дата звернення: 10.11.2025).

18. Екологічні наслідки війни для сходу України: моніторинговий звіт за 2024–2025 рр. МБО «Екологія-Право-Людина». URL: <http://epl.org.ua/environment/war-impact-2025> (дата звернення: 10.11.2025).

19. Жителі приватного сектора у Салтівському районі Харкова оговтуються після атаки дронів увечері 29 квітня. *Суспільне Харків*. URL: <https://suspilne.media/kharkiv/1006541-ziteli-privatnogo-sektora-u-saltivskomu-rajoni-harkova-ogovtuutsa-pisla-ataki-droniv-vveceri-29-kvitna-fotoreportaz/> (дата звернення: 20.11.2025).

20. Житловий будинок на Салтівці після прильоту бомби: фото та відео при денному світлі. *Status Quo*. URL: <https://www.sq.com.ua/ukr/novini/31.10.2024/zitlovii-budinok-na-saltivci-pislya-prilyotu-bombi-foto-ta-video-pri-dennomu-svitli> (дата звернення: 09.11.2025).

21. Захарова А. Смертельні удари по гуртожитках у Харкові: все, що відомо про атаки 17–18 серпня. *24 Канал*. URL: https://24tv.ua/vorog-obstrilyav-harkiv-shho-vidomo-pro-vibuhi-17-18-serpnya_n2134483 (дата звернення: 15.11.2025).

22. Зацерковний, В., Тішаєв І. (2025). Аналіз підходів щодо моніторингу «островів тепла». *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка*. Геологія, 4(79), 71-78. <https://doi.org/10.17721/17282713.79.11> (дата звернення: 11.09.2025).

23. Збитки довкіллю від війни. *Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України*: офіційний вебсайт. URL: <https://mepr.gov.ua/topics/novyny/zbytky-dovkillyu-vid-vijny/> (дата звернення: 04.10.2025).

24. Звіт про стан інженерних мереж міста Харкова за 2024 рік. *КП «Харківводоканал»*: офіційний сайт. URL: <https://vodokanal.kharkov.ua/reports/2024> (дата звернення: 15.11.2025).

25. Інтерактивна карта екологічних наслідків війни. ГО «Екодія». URL: <https://ecoaction.org.ua/warmap.html> (дата звернення: 04.10.2025). (2.5)
26. Інтерактивна карта ландшафтів та фізико-географічного районування України [Карта]. *Інтернет-магазин картографічної продукції*. URL: <https://kgf.com.ua/?route=extension/module/maps&mapid=ls> (дата звернення: 01.08.2025).
27. Інтерактивна мапа руйнувань. *ReUkraine*. URL: <https://reukraine.shtab.net/> (дата звернення: 18.10.2025).
28. Історик архітектури Макс Розенфельд: Фостер запропонував низку проєктів розвитку для нового генплану Харкова. *Інтернет-видання «Думка»*. 2023. URL: <https://dumka.media/ukr/interview/1676004007-istorik-arhitekturi-maks-rozenfeld-foster-zaproponuvav-nizku-proektiv-rozvitku-dlya-novogo-genplanu-harkova> (дата звернення: 02.10.2025).
29. Історичний огляд. Генеральні плани Харкова. *Харків: Архітектура, історія, мистецтво*. URL: <https://www.kharkov.ua/history/genplany.html> (дата звернення: 26.10.2025).
30. Історія. КП «Харківський метрополітен»: офіційний сайт. URL: <https://www.metro.kharkov.ua/uk/pro-metro/istoriya> (дата звернення: 07.10.2025).
31. Казанцева Г. В., Немець Л. М. Особливості рельєфу м. Харкова та їх вплив на просторову диференціацію окремих метеорологічних показників. *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна*. Серія «Геологія. Географія. Екологія». 2011. Вип. 35. С. 136–140. URL: <http://dspace.univer.kharkov.ua/handle/123456789/5760> (дата звернення: 18.10.2025).
32. Карта територій та об'єктів природно-заповідного фонду. «Wownature.in.ua». URL: <https://wownature.in.ua/karta/> (дата звернення: 01.11.2025).
33. Клименко В. Г., Дробот С. В. Геоєкологічні проблеми малих річок міста Харкова (на прикладі р. Немишля). *Вісник ХНУ імені В. Н. Каразіна*. Серія

«Геологія. Географія. Екологія». 2018. Вип. 48. С. 136–145. URL: <https://periodicals.karazin.ua/gge/article/view/10996> (дата звернення: 29.10.2025).

34. Клімат. *Природно-заповідний фонд Харківської області*. URL: <https://ppr.kharkiv.ua/ua/climate> (дата звернення: 10.09.2025).

35. Корж А. Росіяни атакували Харків КАБами посеред ночі: зруйновано багатоповерхівку в одному з районів. *Телеграф*. URL: <https://war.telegraf.com.ua/ukr/war-in-ukraine/2024-11-08/5885169-rosiyani-atakuvali-kharkiv-kabami-posered-nochi-zruynovano-bagatopoverkhivku-v-odnomu-z-rayoniv> (дата звернення: 09.11.2025).

36. Короба Н. Стратегія міського розвитку Харкова: ретроспектива містобудівної політики. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка: Вісник, м. Київ, 2017. С. 79-86*. URL: <https://doi.org/10.17721/1728-2721.2017.68.15> (дата звернення: 14.08.2025).

37. Кравчун О. С. Вплив транспортної інфраструктури на планувальну структуру міста (на прикладі м. Харкова). *Вісник Харківського національного університету міського господарства імені О. М. Бекетова. Серія: «Технічні науки та архітектура»*. 2013. Вип. 108. С. 136–141. URL: http://eprints.kname.edu.ua/34005/1/18_Kravchun_136-141.pdf (дата звернення: 28.10.2025).

38. Кузьменко Ю. І., Гавловська Л. В. Оцінка поширення ландшафтних пожеж у Чорнобильській зоні відчуження в березні 2022 р. на основі моделі Ротермела і супутникових знімків Sentinel 2. *«Ядерна енергетика та довкілля»*. 2022. № 3. С. 60–69. URL: http://jnas.nbu.gov.ua/j-pdf/jaed_2022_3_9.pdf (дата звернення: 29.10.2025).

39. Ландшафти [Карта]. *Географіка: географічний портал*. URL: <https://geomap.land.kiev.ua/landscape-1-950.html> (дата звернення: 04.09.2025).

40. Макаренко Г. Нічний обстріл Харкова: росіяни влучили у п'ятиповерхівку на Салтівці. *Newsroom*. URL: <https://www.newsroom.kh.ua/ua/news/nichnyy-obstril-harkova-rosiyany-vluchyly-u-p-yatypoverhivku-na-saltivci-foto> (дата звернення: 09.11.2025).

41. Меньшикова Є. Російський КАБ зруйнував багатоповерхівку на Салтівці у Харкові: під'їзд склався з восьмого по третій поверх. *Суспільне Харків*. URL: <https://suspilne.media/kharkiv/843497-rosijskij-kab-zrujnuvav-bagatopoverhivku-na-saltivci-u-harkovi-pidizd-sklavsa-z-vosmogo-po-tretij-poverh/> (дата звернення: 09.11.2025).
42. Містобудівний кадастр м. Харкова: геопортал. *Харківська міська рада*. URL: <https://geo.city.kharkov.ua/> (дата звернення: 07.11.2025).
43. На Харківщині через російські обстріли загинула людина, ще шестеро постраждали. *Gwara Media*. URL: <https://gwaramedia.com/na-harkivshhini-cherez-rosijski-obstrili-zaginula-lyudina-shhe-shestero-postrazhdali/> (дата звернення: 26.11.2025).
44. Немець К. А., Немець Л. М. Просторова диференціація урболандшафтів міста Харкова. *Часопис соціально-економічної географії*. 2020. Вип. 28. С. 98–106. URL: <https://periodicals.karazin.ua/humanl/article/view/17436> (дата звернення: 26.10.2025).
45. Николюк О., Пивовар П., Назаркіна Р., Стольнікович Г., Богонос М. Динаміка земельного фонду: як змінилися земельні ресурси України після 24 лютого 2022 року. *KSE Institute*. 2024. 13 с. URL: https://kse.ua/wp-content/uploads/2024/03/Agroviglyad_2_ukr.pdf
46. Оперативна інформація станом на 04.03.2022 щодо російського вторгнення. *АрміяInform*. 2022. URL: <https://armyinform.com.ua/2022/03/04/operatyvna-informacziya-stanom-na-06-00-04-03-2022-shhodo-rosijskogo-vtorgnennnya/> (дата звернення: 17.11.2025).
47. Петренко О. В., Сидоренко І. М. Трансформація міської мобільності в умовах воєнного стану: кейс Харкова. *Вісник ХНАДУ*. 2024. Вип. 102. С. 45–52. URL: <https://vestnik.khadi.kharkov.ua/archive/2024/102/> (дата звернення: 19.11.2025).
48. Петров С. Харків. Атака на місто, день дев'ятий, 04.03.2022. *Майдан*. URL: <https://maidan.org.ua/2022/03/kharkiv-ataka-na-misto-den-dev-iatyuy-04-03-2022/> (дата звернення: 14.11.2025).

49. Попов В. М., Кравчун О. С. Сучасні тенденції розвитку планувальної структури м. Харкова відповідно до генерального плану міста до 2026 р. *Науковий вісник будівництва*. 2011. Вип. 63. С. 22–26. (дата звернення: 28.10.2025).

50. Природні умови і природні комплекси міста Харкова (рослинність схилів). *Моя освіта: освітній портал*. URL: <https://moyaosvita.com.ua/geografija/prirodni-umovi-i-prirodni-kompleksi-mista-xarkova> (дата звернення: 10.10.2025).

51. Природні умови і природні комплекси міста Харкова. *Моя освіта: освітній портал*. URL: <https://moyaosvita.com.ua/geografija/prirodni-umovi-i-prirodni-kompleksi-mista-xarkova> (дата звернення: 10.10.2025).

52. Про затвердження Генерального плану м. Харкова до 2026 року: Рішення Харківської міської ради від 27.06.2003. *Офіційний сайт Харківської міської ради*. URL: <https://city.kharkiv.ua/uk/document/pro-zatverdzhennya-generalnogo-planu-m-kharkova-do-2026-roku-541.html> (дата звернення: 27.10.2025).

53. Про перейменування Московського району в місті Харкові: Рішення Харківської міської ради від 11.05.2022. *Офіційний сайт Харківської міської ради*. URL: <https://city.kharkiv.ua/uk/document/pro-pereymenuvannya-moskovskogo-rayonu-v-misti-kharkovi-52041.html> (дата звернення: 12.10.2025).

54. Програма комплексного відновлення зелених зон Харкова на 2025–2027 роки. *Департамент житлово-комунального господарства Харківської міської ради*. URL: <https://city.kharkiv.ua/uk/document/view/id/28940> (дата звернення: 13.11.2025).

55. Проєкт відновлення Харкова (Kharkiv Rebuild). *Харківська міська рада: офіційний сайт*. URL: <https://www.city.kharkov.ua/uk/proekti/proekt-vidnovlennya-kharkova.html> (дата звернення: 08.11.2025).

56. Публічна кадастрова карта України. *Державна служба України з питань геодезії, картографії та кадастру*. URL: <https://kadastrova-karta.com/> (дата звернення: 04.11.2025).

57. Решетченко С. І. Обґрунтування структурно-логічної моделі дослідження клімату міста Харкова. *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна*. Серія «Геологія. Географія. Екологія». 2018. Вип. 48. С. 146–154. URL: <https://periodicals.karazin.ua/gge/article/view/10998> (дата звернення: 06.10.2025).

58. Роговий А. ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТУ ТЕПЛОВОГО ОСТРОВА В МІСТІ. *Автомобільний транспорт*, вип. 44, м. Харків, 2019. С. 72-80. URL: <https://doi.org/10.30977/AT.2219-8342.2019.44.0.72> (дата звернення: 15.10.2025).

59. росія атакує «Шахедами» Харків: у місті лунають вибухи. *NV*. URL: <https://nv.ua/ukr/ukraine/events/rosiya-atakuje-shahedami-harkiv-u-misti-lunayut-vibuhi-50508236.html> (дата звернення: 12.10.2025).

60. росіяни атакували Харків БпЛА: у місті пролунав вибух. *РБК-Україна*. URL: <https://www.rbc.ua/rus/news/rosiyani-atakuvali-harkiv-bpla-misti-prolunav-1739748623.html> (дата звернення: 17.10.2025).

61. Савченко Г. Хто такі Bellingcat і чому про них так багато говорять. *BBC News Україна*. 2021. URL: <https://www.bbc.com/ukrainian/news-56379529> (дата звернення: 10.10.2025).

62. Салтівський район. *Офіційний сайт Харківської міської ради*. URL: <https://city.kharkiv.ua/uk/rayon/saltivskij/> (дата звернення: 04.10.2025).

63. Сахно А. Харківська Салтівка – колись там жило більше людей, ніж у Полтаві: що наразі відбувається в одному з найбільш зруйнованих мікрорайонів України та яке майбутнє чекає на це місце (ФОТОРЕПОРТАЖ). *0532.ua: сайт міста Полтави*. URL: <https://www.0532.ua/news/3637591/harkivska-saltivka-kolis-tam-zilo-bilse-ludej-niz-u-poltavi-so-narazi-vidbuvaetsa-v-odnomu-z-najbils-zrujnovanih-mikrorajoniv-ukraini-ta-ake-majbutne-cekae-na-ce-misce-fotoreportaz> (дата звернення: 10.11.2025).

64. Солодовніков Д. О., Карпова Є. П. Рекреаційно-ландшафтні системи м. Харкова: сучасний стан та перспективи розвитку. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології*. 2015. № 1-2. С. 98–103. URL:

<http://dspace.univer.kharkov.ua/handle/123456789/11187> (дата звернення: 27.10.2025).

65. Тимошенко М., Солодько П., Кельм Н. ВІЙНА 2022–24: лінія фронту [Інтерактивна карта]. *ТЕКСТИ.org.ua*. URL: https://www.google.com/maps/d/u/0/viewer?mid=10n5IOLu0m7G1jSSKxLXgXPzn_oGjn7MMO&ll=49.978573908134464%2C36.36411548146169&z=12 (дата звернення: 14.10.2025).

66. Ткаченко Т., Бондар А. Енергоефективна модернізація житлового фонду як етап повоєнної відбудови: аналіз кейсів Салтівського району. *Містобудування та територіальне планування*. 2025. № 81. С. 112–120. URL: <https://library.knuba.edu.ua/books/zbirnyk-81> (дата звернення: 17.11.2025).

67. Трачук М. Масштабний приліт у Харкові: поцілили в «Епіцентр», є жертви та поранені, над містом підіймається густий чорний дим — фото. *Інформатор Україна*. URL: <https://informer.ua/uk/masshtabniy-prilit-u-harkovi-pocilili-v-epicentr-ye-zhertvi-ta-poraneni-nad-mistom-pidiymayetsya-gustiy-chorniy-dim-foto> (дата звернення: 07.11.2025).

68. Трачук О. «Ми дуже сильно злякалися». Наслідки влучання «Іскандеру» на Салтівці (відео). *Інфосіті*. URL: <https://infocity.kharkiv.ua/tv-proekty/my-duzhe-sylno-zliakalysia-naslidky-vluchannia-iskanderu-na-saltivtsi-video/> (дата звернення: 10.11.2025).

69. У річці Немишлі на Харківщині нафтопродукти перевищили норму у 95 разів — Держекоінспекція. *Суспільне Харків*. 2024. URL: <https://suspilne.media/kharkiv/684326-u-ricci-nemisli-na-harkivsini-naftoproducti-perevisili-normu-u-95-raziv-derzekoinspekcia/> (дата звернення: 19.11.2025).

70. У Харкові «Шахед» влучив біля житлового будинку і гімназії у Салтівському районі: пошкоджено понад 230 вікон. *Суспільне Харків*. URL: <https://suspilne.media/kharkiv/1009233-u-harkovi-sahed-vluciv-bila-zitlovogo-budinku-i-gimnazii-u-saltivskomu-rajoni-poskodzeno-ponad-230-vikon/> (дата звернення: 18.10.2025).

71. У Харкові будівельники назвали строки відновлення висотки, куди влучили 20 російських снарядів. *Інтернет-видання «Думка»*. URL: <https://dumka.media/ukr/renovation/1748364000-u-harkovi-budivelniki-nazvali-stroki-vidnovlennya-visotki-kudi-vluchili-20-rosiyskih-snaryadiv> (дата звернення: 19.11.2025).

72. Харків. Історія. *Litteralis.com: літературний та краєзнавчий сайт*. URL: <https://litteralis.com/kharkiv/> (дата звернення: 04.10.2025).

73. Харківська обласна військова адміністрація: офіційний вебсайт. URL: <https://kharkivoda.gov.ua/> (дата звернення: 11.10.2025).

74. Харківський Лісопарк зняли з висоти пташиного польоту: в об'єktiv потрапив заєць (відео). *Коментарі*. Харків. 2021. URL: <https://kharkov.comments.ua/ua/news/society/developments/10221-harkivskiy-lisopark-znyali-z-visoti-ptashinogo-polotu-v-ob-ektiv-potrapiv-zaec-video.html> (дата звернення: 07.10.2025).

75. Харківщинознавство. 8 клас. Тема: Рельєф. *Бібліотека «Всеосвіта»*. URL: <https://vseosvita.ua/library/kharkivshchynoznavstvo-8-klas-tema-relief-822529.html> (дата звернення: 11.10.2025).

76. Цвеліх М. Роботи щодо відновлення трамвайної лінії по проспекту Тракторобудівників від вулиці Героїв Праці до Салтівського шосе. *Доступ до правди*. URL: https://dostup.org.ua/request/roboti_shchodo_vidnovliennia_tra (дата звернення: 14.11.2025).

77. Цьомик Г., Солодовнік М. Головні новини Харкова та області 23 квітня: обстріл приватного сектору, вибухи у місті. *Суспільне Харків*. URL: <https://suspilne.media/kharkiv/729979-golovni-novini-harkova-ta-oblasti-23-kvitna/> (дата звернення: 08.11.2025).

78. Чисельність населення (за оцінкою) на 1 січня 2022 року та середня чисельність у 2021 році. *Головне управління статистики у Харківській області: офіційний вебсайт*. URL: <https://kh.ukrstat.gov.ua/2022chiselnasel/4303-arkhiv-chiselnist-naselennya-za-otsinkoyu-na-1-sichnya-2022-roku-ta-serednya-chiselnist-u-2021-rotsi> (дата звернення: 11.09.2025). (1.1)

79. Чисельність наявного населення України на 1 січня 2022 року. *Державна служба статистики України: офіційний вебсайт*. URL: <https://stat.gov.ua/uk/publications/chyselnist-nayavnoho-naselennya-ukrayiny-na-1-sichnya-2022> (дата звернення: 11.09.2025). (1.2)

80. «Я думала, нас мине, але нас не минула війна»: армія рф завдала удару по Харкову. *Gwara Media*. URL: <https://gwaramedia.com/ya-dumala-nas-mine-ale-nas-ne-minula-vijna-armiya-rf-zavdala-udaru-po-harkovu/> (дата звернення: 26.11.2025).

81. Albeaino G., Gheisari M., Esmaeili B. Drones for Disaster Response and Structural Safety Assessment: A Review. *Remote Sensing*. 2018. Vol. 10, iss. 11. 1772. URL: <https://www.mdpi.com/2072-4292/10/11/1772> (date of access: 07.11.2025).

82. Asbestos Management in Post-War Recovery. *Global Compact Network Ukraine*. 2023. URL: <https://globalcompact.org.ua/news/zaborona-azbestu-chomu-ukrayina-povynna-zaprovadyty-yiyi-yaknajshvidshe/> (date of access: 29.11.2025).

83. Assessment of the impact of the war on the agricultural sector of Ukraine. *Kyiv School of Economics (KSE) Agrocenter*. 2024. URL: <https://kse.ua/ua/kse-agrocenter/> (date of access: 14.11.2025).

84. Average Weather in Kharkiv, Ukraine, Year Round. *Weather Spark*. URL: <https://weatherspark.com/y/99982/Average-Weather-in-Kharkiv-Ukraine-Year-Round> (date of access: 18.10.2025).

85. Balyuk S. A. et al. Military degradation of soils: types, forms of manifestation and consequences. *Gruntoznavstvo*. 2022. Vol. 23, no. 1–2. P. 5–15. URL: <http://journal.gruntoznavstvo.com.ua/index.php/gruntoznavstvo/article/view/1005> (date of access: 07.11.2025).

86. Baxter J., Eyles J. Evaluating Qualitative Research in Social Geography: Establishing «Trustworthiness». *Transactions of the Institute of British Geographers*. 1997. Vol. 22, iss. 4. P. 505–525. URL: <https://rgs-ibg.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1475-5661.1997.00505.x> (date of access: 20.11.2025).

87. Bernard S., Miller C. Ukraine's battle against Russia in maps and charts: latest updates. *THE FINANCIAL TIMES LTD.* 2022. URL: <https://www.ft.com/content/4351d5b0-0888-4b47-9368-6bc4dfbccbf5#20279193> (date of access: 21.10.2025). (date of access: 27.10.2025).

88. Blaschke T. Object based image analysis for remote sensing. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. 2010. Vol. 65, iss. 1. P. 2–16. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S092427160900119X> (date of access: 18.11.2025).

89. Boyko N. I., Chornobay D. S. Evaluation of distribution density: three main approaches. *Systems and Technologies*. 2023. Vol. 66, no. 2. P. 32–42. DOI: <https://doi.org/10.32782/2521-6643-2023.2-66.4>. URL: <https://st.umsf.in.ua/index.php/journal/article/view/124/131> (date of access: 04.11.2025).

90. Campbell J. B., Wynne R. H. Introduction to Remote Sensing. 5th ed. Guilford Press, 2011. (date of access: 10.11.2025). (2.48)

91. Circular Economy for Industrial Development in Ukraine: Baseline Study. *United Nations Industrial Development Organization (UNIDO)*. 2024. URL: https://www.unido.org/sites/default/files/unido-publications/2024-08/Baseline%20report%20ENG_web.pdf (date of access: 17.11.2025).

92. Circular Economy in Construction: Opportunities for Ukraine. *ReThink*. 2024. URL: <https://www.rethink.com.ua/projects/safe-sustainable-and-swift-reconstruction-of-ukraine> (date of access: 12.11.2025).

93. Circular Economy in the Recovery of Ukraine's Construction Sector: Opportunities and Challenges. *Confederation of Builders of Ukraine (CBU)*. 2025. URL: <https://kbu.org.ua/en/news/circular-economy-in-the-recovery-of-ukraine-s-construction-sector-opportunities-and-challenges> (date of access: 14.11.2025).

94. Climate: Kharkiv Oblast. *Climate-Data.org*. URL: <https://en.climate-data.org/europe/ukraine/kharkiv-oblast/kharkiv-6389/> (date of access: 14.09.2025).

95. Comprehensive Damage Assessment in Kharkiv City, Ukraine (15 May 2022). *UNITAR-UNOSAT*. URL: <https://unitar.org/maps/map/3241> (date of access: 16.11.2025).
96. Congalton R. G. A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. *Remote Sensing of Environment*. 1991. Vol. 37, iss. 1. P. 35–46. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/003442579190048N> (date of access: 06.11.2025).
97. Copernicus Browser [Інструмент для перегляду супутникових даних]. *Copernicus Data Space Ecosystem*. URL: <https://browser.dataspace.copernicus.eu/> (date of access: 18.10.2025).
98. Cresswell J. W., Miller D. L. Determining Validity in Qualitative Inquiry. *Theory Into Practice*. 2000. Vol. 39, iss. 3. P. 124–130. URL: https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1207/s15430421tip3903_2 (date of access: 11.11.2025). (2.45)
99. Dadachova E. Radioactivity and chemical contamination risks from military actions in urban environments. *Environmental Science & Technology*. 2022. Vol. 56, iss. 12. P. 7401–7403. URL: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.est.2c02567> (date of access: 11.11.2025).
100. Data Search & Discovery. *Alaska Satellite Facility (ASF)*. URL: <https://asf.alaska.edu/> (date of access: 05.11.2025).
101. Debris Management and Circular Economy Guidelines for Ukraine [UNDP launches major debris removal initiative in Ukraine]. *United Nations Development Programme (UNDP)*. 2024. URL: <https://www.undp.org/ukraine/press-releases/undp-launches-major-debris-removal-initiative-ukraine-accelerate-recovery> (date of access: 21.11.2025).
102. EarthExplorer. *U.S. Geological Survey (USGS)*. URL: <https://earthexplorer.usgs.gov/> (date of access: 07.11.2025).
103. Environmental Impact of the War in Ukraine: Preliminary Assessment. *UN Environment Programme (UNEP)*. 2023. URL:

<https://www.unep.org/resources/report/environmental-impact-war-ukraine-preliminary-assessment> (date of access: 20.11.2025).

104. Environmental Monitoring of the War Against Ukraine and Recovery Strategy. *Organization for Security and Co-operation in Europe (OSCE)*. 2023. URL: <https://www.osce.org/node/536855> (date of access: 10.11.2025). (4.9)

105. EO Browser [Інструмент для перегляду супутникових даних]. *Sentinel Hub*. URL: <https://apps.sentinel-hub.com/eo-browser/> (date of access: 26.11.2025). (2.8)

106. Escuin S., Navarro R., Fernández P. Fire severity assessment by applying a short-term algorithm to NBR images. *Remote Sensing of Environment*. 2008. Vol. 112, iss. 6. P. 3061–3069. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S003442570800115X> (date of access: 10.11.2025).

107. Eyes on Russia Project. *Centre for Information Resilience (CIR)*. URL: <https://www.info-res.org/> (date of access: 16.11.2025).

108. Eyes on Russia: The Russia-Ukraine Monitor Map. *Centre for Information Resilience*. URL: <https://eyesonrussia.org/> (date of access: 24.10.2025).

109. Fire Information for Resource Management System (FIRMS). *NASA*. URL: <https://firms.modaps.eosdis.nasa.gov/> (date of access: 26.11.2025).

110. Five Years of Conflict: A Spatio-Temporal Analysis of Damage in the City of Aleppo. *UNITAR-UNOSAT*. 2018. URL: <https://monumentsofsyria.com/wp/wp-content/uploads/UNESCO-UNITAR-Aleppo-Five-Years-of-Conflict-2018.pdf> (date of access: 27.10.2025).

111. Forest fires in Ukraine: 2024 situational analysis. *Regional Eastern Europe Fire Monitoring Center (REEFMC)*. URL: <https://nubip.edu.ua/node/12070> (date of access: 18.11.2025).

112. From Ruins to Reuse: How Ukrainians Are Repurposing War Waste. *Yale Environment 360*. 2025. URL: <https://e360.yale.edu/features/ukraine-war-debris-recycling> (date of access: 13.11.2025). (4.2)

113. Ghaffarian S., Kerle N. Towards Post-Disaster Debris Identification for Precise Damage and Recovery Assessments from UAV and Satellite Images. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. 2019. Vol. XLII-2/W13. P. 297–304. URL: <https://isprs-archives.copernicus.org/articles/XLII-2-W13/297/2019/> (date of access: 10.11.2025).
114. Ghaffarian S., Kerle N., Filatova T. Remote sensing-based post-disaster debris assessment. *International Journal of Disaster Risk Reduction*. 2019. P. 101–118. URL: <https://isprs-archives.copernicus.org/articles/XLII-2-W13/297/2019/> (date of access: 17.11.2025).
115. Google Earth [Інтерактивна карта]. URL: <https://earth.google.com/web/?hl=uk> (date of access: 03.08.2025). (1.34)
116. Health Risks of Asbestos in Demolition Waste. *Center for Public Health (CDC)*. 2024. URL: <https://dp.cdc.gov.ua/news/chym-shkidlyvyj-dlya-zdorov-ya-material-z-azbestu/> (date of access: 20.11.2025).
117. Hrytsku V., Derii Z. Heavy metals pollution of soils in Kharkiv region under conditions of military aggression. *Agroecological Journal*. 2023. No. 1. P. 54–62. URL: <https://agrojournal.org.ua/index.php/journal/article/view/356> (date of access: 18.11.2025).
118. Hupy J. P., Koehler M. D. The Geography and Geomorphology of Modern Conflict. *Geographical Review*. 2017. Vol. 107, iss. 2. P. 527–548. URL: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1111/j.1931-0846>. (date of access: 16.11.2025).
119. Invasion Day 7 – Summary. *MilitaryLand.net*. 2022. URL: <https://militaryland.net/news/invasion-day-7-summary/> (date of access: 14.10.2025).
120. Joyce R. et al. The Role of Multi-Source Data in Conflict Monitoring. *Remote Sensing*. 2019. Vol. 11, iss. 18. 2125. URL: <https://www.mdpi.com/2072-4292/11/18/2125> (date of access: 04.11.2025).
121. Kharkiv Masterplan Update: Pilot Projects in Saltivka District (May 2025). *Norman Foster Foundation*. URL: <https://normanfosterfoundation.org/kharkiv-masterplan> (date of access: 18.11.2025).

122. Kharkiv Masterplan: A Blueprint for the Reconstruction of Ukraine. *UN4UkrainianCities*; Norman Foster Foundation. 2024. URL: <https://www.un4ukrainiancities.org/resources/kharkiv-masterplan-a-blueprint-for-the-reconstruction-of-ukraine> (date of access: 16.11.2025).
123. Kharkiv Masterplan: Concept and Strategy. *Norman Foster Foundation*; UNECE. 2024. URL: <https://unece.org/sites/default/files/2023-02/NFF%20-%20Kharkiv%20master%20plan%20red.pdf> (date of access: 12.11.2025).
124. Kharkiv Smart City Strategy: Post-War Resilience Edition. *Kharkiv IT Cluster Report*. 2025. URL: <https://it-kharkiv.com/reports/smart-city-2025> (date of access: 17.11.2025).
125. Kisel' M. Remote Sensing-Based Monitoring of Water Quality in Urban Water Bodies. *Applied Sciences*. 2022. Vol. 12, iss. 3. 1604. URL: <https://www.mdpi.com/2076-3417/12/3/1604> (date of access: 14.11.2025).
126. Kozlovska N. Debris can become a raw material for the Ukraine recovery. *UST Coalition*. 2024. URL: <https://ustcoalition.com.ua/en/vidhody-vid-rujnuvan-mozhut-staty-syrovynoyu-dlya-vidnovlennya-ukrayiny/> (date of access: 20.11.2025).
127. Lagmay A. M. F. Automated crater detection and delineation on Mars using a hierarchical clustering algorithm. *Computers & Geosciences*. 2017. Vol. 107. P. 27–35. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S009830041730177X> (date of access: 11.11.2025).
128. Lasaponara R., Lanorte A. Satellite Time-Series Analysis for Monitoring Fire Disturbance and Vegetation Recovery. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 2012. Vol. 10. P. 1–5. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S030324341100086X> (date of access: 16.11.2025).
129. Lillesand T., Kiefer R. W., Chipman J. Remote Sensing and Image Interpretation. 7th ed. Wiley, 2015. URL: <https://www.wiley.com/en-us/Remote+Sensing+and+Image+Interpretation%2C+7th+Edition-p-9781118343289> (date of access: 08.11.2025).

130. Maps3D [3D-картографічний сервіс]. URL: <https://maps3d.io/> (date of access: 09.11.2025).
131. Matese A. Assessment of Vineyard Vigor and Grape Quality Using Remote Sensing. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2015. Vol. 63, iss. 43. P. 9407–9413. URL: <https://pubs.acs.org/doi/10.1221/acs.jafc.5b03517> (date of access: 16.11.2025).
132. Nature and natural resources [Природа та природні ресурси]. *Kharkiv regional state administration*. URL: <https://www.kharkov.ua/region/nature-e.htm> (date of access: 17.09.2025).
133. Norman Foster Foundation Kharkiv Housing Challenge Competition Winners. *Buildner*. 2024. URL: <https://architecturecompetitions.com/kharkivhousingchallenge/> (date of access: 17.11.2025).
134. Open Data Program: Ukraine 2022. *Maxar Technologies*. URL: <https://www.maxar.com/open-data/ukraine-2022> (date of access: 13.11.2025).
135. Park K. H., Periasamy S., Kim D. Building Damage Assessment for the Ukraine War Using Sentinel-1 SAR Data. *Remote Sensing*. 2023. Vol. 15, iss. 8. 2085. URL: <https://www.mdpi.com/2072-4292/15/8/2085> (date of access: 02.11.2025).
136. Pereira P., Bašić F., Bogunovic I., Barcelo D. Russian-Ukrainian war impacts the total environment. *Science of The Total Environment*. 2022. Vol. 837. 155865. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S004896972203086X> (date of access: 21.11.2025).
137. Planet Monitoring Programs. *Planet Labs*. URL: <https://www.planet.com/> (date of access: 14.11.2025).
138. Post-Conflict Environmental Assessment: From Measuring Impact to Building Peace: *UNEP Guidance Note. United Nations Environment Programme (UNEP)*. 2009. URL: https://www.humanitarianlibrary.org/sites/default/files/2013/05/UNEP_%20Integrati

ng%20Environment%20in%20Post-Conflict%20Needs%20Assessment_2009.pdf
(date of access: 05.10.2025).

139. Post-War Reconstruction in Ukraine – *Restoring Demolished Areas using Mobile Crushers*. GreenMix. 2025. URL: <https://www.greenmix.co.il/post/post-war-reconstruction-in-ukraine-restoring-demolished-areas?lang=en> (date of access: 20.11.2025).

140. Program of Economic and Social Development of Kharkiv Oblast for 2024–2025. *Kharkiv Regional Council*. 2025. URL: <https://oblrada-kharkiv.gov.ua/wp-content/uploads/2024/12/programa-chastyna-1-zi-zminamy.pdf> (date of access: 16.11.2025).

141. Rees G., Hebryn-Baidy L., Belenok V. Temporal Variations in Land Surface Temperature within an Urban Ecosystem: *A Comprehensive Assessment of Land Use and Land Cover Change in Kharkiv, Ukraine*. 2024. URL: <https://doi.org/10.3390/rs16091637> (date of access: 08.09.2025).

142. Report for Wednesday, June 11, 2025. *The Cipher Brief*. URL: <https://www.thecipherbrief.com/report-for-wednesday-june-11-2025-2672351745> (date of access: 14.11.2025).

143. Russia-Ukraine Warning Update [Матеріали аналітичного центру]. *Institute for the Study of War (ISW)*. URL: <https://www.understandingwar.org/user/3100/track> (date of access: 28.10.2025).

144. Serdiuk O. M. et al. Analysis of destruction of residential buildings in Kharkiv. *Municipal Economy of Cities*. 2023. Vol. 177, no. 2. P. 56–63. URL: <https://khg.kname.edu.ua/index.php/khg/article/view/6123> (date of access: 19.11.2025).

145. Shevchenko M. Urban Trauma: Architectural and Psychological Consequences of War in Eastern Ukraine. *Kyiv School of Economics Institute*. 2025. URL: <https://kse.ua/research-urban-trauma> (date of access: 14.11.2025).

146. Shumilova O. et al. Impact of the Russia–Ukraine armed conflict on water resources and water infrastructure. *Nature Sustainability*. 2023. Vol. 6. P. 578–586.

URL: <https://www.nature.com/articles/s41893-023-01107-w> (date of access: 20.11.2025).

147. Tmlhearne R., Smith A. Integrating high-resolution imagery for urban conflict damage assessment. *Remote Sensing Applications*. 2023. Vol. 28. 100845. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S235293852200321X> (date of access: 18.11.2025).

148. Toolkit for the environmental and resilience assessment of the post-war recovery of Ukraine. *Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD)*. 2023. URL: <https://www.oecd.org/ukraine-hub/reports/Toolkit-environmental-resilience-assessment-post-war-recovery-Ukraine.pdf> (date of access: 09.11.2025).

149. Ukraine – Fourth Rapid Damage and Needs Assessment (RDNA4): February 2022 – December 2024. *United Nations Development Programme (UNDP)*. 2025. URL: <https://www.undp.org/ukraine/publications/ukraine-fourth-rapid-damage-and-needs-assessment-rdna4-february-2022-december-2024-english> (date of access: 25.11.2025).

150. Ukraine Data. *Humanitarian Data Exchange (HDX)*. URL: <https://data.humdata.org/organization/ocha-ukraine> (date of access: 08.11.2025).

151. Ukraine Rapid Damage and Needs Assessment (RDNA3). *The World Bank, Government of Ukraine, European Union, United Nations*. 2024. URL: <https://www.worldbank.org/en/news/press-release/2024/02/15/ukraine-rapid-damage-and-needs-assessment-rdna3-february-2024> (date of access: 20.11.2025).

152. UNOSAT Damage Assessment Overview Map: Ukraine, Northeast (Kharkiv), Kharkivska Oblast – Imagery Analysis: 24 April 2022. *ReliefWeb*. URL: <https://reliefweb.int/map/ukraine/unosat-damage-assessment-overview-map-ukraine-northeast-kharkiv-kharkivska-oblast-imagery-analysis-24-april-2022-published-29-april-2022-v1> (date of access: 20.11.2025).

153. Updated Ukraine Recovery and Reconstruction Needs Assessment Released. *The World Bank*. 2025. URL: <https://www.worldbank.org/en/news/press->

release/2025/02/25/updated-ukraine-recovery-and-reconstruction-needs-assessment-released (date of access: 19.11.2025).

154. Urban ecosystem services: Why do they matter? *European Environment Agency (EEA)*. 2021. URL: <https://www.eea.europa.eu/signals/signals-2021/articles/urban-ecosystem-services-why-do> (date of access: 08.11.2025).

155. Wang Y. et al. Remote sensing of urban flooding: A review. *Progress in Physical Geography: Earth and Environment*. 2018. Vol. 42, iss. 3. P. 345–363. URL: <https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/0309133318770974> (date of access: 13.11.2025).

156. Weather API [Метеорологічні дані]. *Meteomatics*. URL: <https://www.meteomatics.com/> (date of access: 30.10.2025).

157. Weather Archive Kharkiv [Архів погоди у Харкові]. *Meteoblue*. URL: https://www.meteoblue.com/uk/weather/historyclimate/weatherarchive/kharkiv_ukraine_706483?fcstlength=1m&year=2024&month=1 (date of access: 12.09.2025).

158. When school gym becomes home: Ukraine's displaced. *IOM Ukraine*. URL: <https://ukraine.iom.int/stories/when-school-gym-becomes-home-ukraines-displaced> (date of access: 13.11.2025).

159. WorldCover Viewer [Інтерактивна карта]. *European Space Agency (ESA)*. URL: <https://viewer.esa-worldcover.org/worldcover/> (date of access: 20.10.2025).

160. Zasiadko E., Kostiusyn V. Environmental impact of the attack on the oil depot in Kharkiv. *Ecoaction*. 2024. URL: <https://ecoaction.org.ua/en/environmental-impact-kharkiv-oil-depot.html> (date of access: 15.11.2025).

161. Zawadzka-Mańko O., M. Markowicz K. The Role of Air Mass Advection and Solar Radiation in Modulating Air Temperature Anomalies in Poland. 2025. URL: <https://doi.org/10.3390/atmos16070820> (date of access: 18.10.2025).

162. Zhao L. et al. Strong contributions of local background climate to urban heat islands. *Nature*. 2014. Vol. 511. P. 216–219. URL: <https://www.nature.com/articles/nature13462> (date of access: 17.11.2025).

ДОДАТКИ

Додаток А

Траєкторії змін ландшафту Салтівського району (2021-2025 рр.)

Код (TypeChange)	Траєкторія змін (Умова)	Назва класу	Інтерпретація / Хронологія процесу
1	Зміна → Стабільність (Change → Stable)	Зміни 21-22 (Завершені)	Зміна (руйнування або зростання) відбулася в першому періоді (2021-2022 рр.) і стабілізувалася у другому (руїни залишилися руїнами, відновлення зупинилося).
2	Стабільність → Зміна (Stable → Change)	Зміни 22-25 (Нові)	Зміна відбулася після 2022 року. Фіксує нові удари або початок інтенсивних процесів демонтажу / будівництва / ревіталізації.
3*	Руйнування → Руйнування (Destruction → Destruction)	Тривалі (Неперервні)	Відсутній у даних. Теоретично: постійний стрес або повторний значний вплив на ту саму точку. Його відсутність свідчить про низьку ймовірність такого сценарію.
4	Руйнування → Відновлення (Destruction → Regrowth)	Відновлення	Ключова траєкторія. Ділянка зазнала негайного руйнування (2021-2022 рр.), але у другому періоді (2022-2025 рр.) почався процес відновлення (як природного, так і інфраструктурного).
5	Інші/Нестабільні	Інші/Нестабільні	Включає всі інші комбінації (наприклад, Стабільність → Стабільність, Відновлення → Руйнування, Відновлення → Стабільність), що характеризують фонові або складні, суперечливі зміни.

* Клас 3 (Тривалі, неперервні зміни) відсутній у фінальних результатах, що є важливим науковим висновком, який підкреслює, що після первинного руйнування ділянки переходять у фазу стабілізації або відновлення, а не зазнають повторного циклу деструкції