

# ЗЕМЛЕУСТРІЙ, КАДАСТР І МОНІТОРИНГ ЗЕМЕЛЬ науково-виробничий журнал

№2 (2026)

щоквартальник

ISSN 2306-1677 (Print) ISSN 2518-7325 (On-line)

## ДО УВАГИ АВТОРІВ!

Вимоги до розміщення статті в журналі та на сайті журналу:

- назва статті;
- ім'я та прізвище автора (авторів);
- анотація від 150 слів;
- чітка постановка проблеми;
- стислі, але зрозуміло викладені результати інших дослідників;
- мета дослідження;
- матеріали і методи дослідження;
- виклад дослідження;
- чітко сформульовані та виділені головні думки;
- акцентоване подання наукової новизни, нового знання;
- висновки наприкінці статті (про досягнуті результати, користь від них та про подальші розробки).

**У статті має бути переклад англійською (сумарним обсягом не менше, ніж 1000 знаків):** назви статті; ім'я та прізвища автора (авторів); анотація від 150 слів головних думок, важливих тез і формулювань, тексту, що виявляє наукову новизну (нове знання).

*Обов'язковим є список використаних джерел наприкінці статті (праці не лише вітчизняних, а й зарубіжних авторів). Посилання на інших дослідників та на ту чи іншу працю мають позначатися в тексті у квадратних дужках порядком номером цієї праці за списком використаних джерел.*

Рекомендований обсяг статті – 16-28 тис. знаків, шрифти найпоширенішого типу, текстовий шрифт та шрифт формул повинні бути різними. Формули чіткі, із загальноприйнятими використанням символів. Таблиці компактні, з назвою та нумерацією. Ілюстративні матеріали повинні бути якісними, придатними для сканування.

**Додатково надсилають:** інформацію про автора (авторів): ім'я, прізвище, вчене звання, науковий ступінь, посада – усе це українською та англійською мовами (додатково: адреса з поштовим індексом, телефон); заяву з підписами авторів про те, що надіслану статтю не було надруковано і не подано до інших видань. Бажано також супроводити матеріали рекомендаціями до друку науковців та фахівців у даній галузі.

**Категорично не приймаються описові статті** (сукупність загальновідомих характеристик та оцінок об'єкта дослідження або сукупність запозичених характеристик і тез).

Редакція залишає за собою право на скорочення, незначне редагування та виправлення статті (зі збереженням головних висновків та стилю автора).

**Фахова реєстрація у МОН України (Категорія Б):** Наказ №157 від 9.02.2021 року, (економічні науки, 051 спеціальність), Наказ МОН №735 від 29.06.2021 р. (технічні науки, 193 спеціальність) науково-виробничий журнал «Землеустрій, кадастр і моніторинг земель» включено до наукових фахових видань України, в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата економічних і технічних наук.

Журнал включений та індексується в наступних міжнародних бібліографічних базах даних: DOAJ, Index Copernicus, Ulrichsweb, CrossRef, ResearchBib, EBSCO Publishing, AGRIS, EuroPub, DRJI, PBN, JournalTOCs, WorldCat, Google Scholar, MIAR, BASE, EZB, SIS.

Державна реєстрація: ідентифікатор медіа R30-02300. Рішення Національної Ради України з питань телебачення і радіомовлення від 21.12.2023 р. № 1795, протокол № 31.

Засновники: Національний університет біоресурсів і природокористування України.

Рекомендовано до друку вченою радою Національного університету біоресурсів і природокористування України (протокол № 13 від 21 травня 2026 року).

## РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ

ГОЛОВНИЙ РЕДАКТОР

**Дорош Йосип**, д. е. н., проф., акад. НААН України

ВІДПОВІДАЛЬНИЙ СЕКРЕТАР

**Бутенко Євген**, к. е. н., доц.

ЧЛЕНИ КОЛЕГІЇ

**Гебрин-Байди Лїлія**, канд. техн. н., наук. співробітниця (Велика Британія)

**Дорош Ольга**, д. екон. н., проф.

**Дроздівський Олег**, канд. техн. н., доц.

**Заваліська Катажина**, д. габ., проф. (Польща)

**Ібатуллін Шаміль**, д. екон. н., проф., акад. НААН України

**Кемпа Ольгерд**, д. інж. н., доц. (Польща)

**Ковалишин Олександра**, д. екон. н., проф.

**Кохан Світлана**, д. техн. н., проф.

**Крупін Віталій**, канд. екон. н., асист. проф. (Польща)

**Купріянич Ірина**, д. екон. н., проф.

**Мартин Андрій**, д. екон. н., проф., чл.-кор. НААН України

**Онер Четін**, д. н., проф. (Туреччина)

**Опенько Іван**, д. екон. н., доц.

**Палеха Юрій**, д. геогр. н., проф.

**Сакаль Оксана**, д. екон. н., ст. наук. співроб.

**Скрипник Лїлія**, д. філос., доц.

**Станин Моніка**, д. габ., проф. (Польща)

**Ступень Роман**, д. екон. н., проф.

**Третяк Антон**, д. екон. н., проф.

**Цибульська Юлія**, канд. екон. н., асист. проф. (Польща)

## АДРЕСА РЕДАКЦІЇ

Видавць НУБІП України,

вул. Героїв Оборони, 15, м. Київ, 03041.

Свід. ДК № 4097 від 17.06.2011.

МАКЕТ, ВЕРСТКА ТА ДРУК

Підписано до друку 30.05.26 року.

Формат 70x100/16 Умовн. друк. арк.: 15,4

Папір офсетний. Друк цифровий.

Гарнітура Times New Roman.

Наклад 100 прим. Зам. №260336

*При передруку постановя на «Землеустрій, кадастр і моніторинг земель» обов'язкове. Відповідальність за достовірність інформації несуть автори. Редакція журналу «Землеустрій, кадастр і моніторинг земель» залишає за собою право на незначне скорочення та літературне редагування авторських матеріалів зі збереженням стилю автора і головних висновків.*

## ЗМІСТ

### ГЕОІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ МОДЕЛЮВАННЯ СТАНУ ГЕОСИСТЕМ

<b>Й. М. Дорош, Б. Б. Заячківська, Р. А. Харитоненко, Д. М. Мельник</b> ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ ВКЛАДЕНОЇ ІТЕРАЦІЇ ДЛЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО КАРТОГРАФУВАННЯ.....	4
<b>В. С. Чабанюк, О. П. Дишлик</b> СТАНДАРТИЗАЦІЯ МЕТОДОЛОГІЇ MSF AGILE З ДОПОМОГОЮ ISO/IEC 24744:15	
<b>Р. О. Зіненко</b> СТАН СЕРВІСНО-ОРІЄНТОВАНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ГЕОВІЗУАЛІЗАЦІЇ ГЕОПРОСТОРОВИХ ДАНИХ В УКРАЇНІ ТА ТЕНДЕНЦІЇ ЇХ РОЗВИТКУ .....	32

### УПРАВЛІННЯ ЗЕМЕЛЬНИМИ РЕСУРСАМИ ТА ЗЕМЛЕУСТРІЙ

<b>А. Г. Мартин, Л. А. Гунько, А. М. Полтавець, О. М. Чумаченко</b> ЗЕМЛІ ЗРУЙНОВАНИХ НАСЕЛЕНИХ ПУНКТИВ В УКРАЇНІ: ПРАВОВИЙ РЕЖИМ, ЗЕМЛЕВПОРЯДНА КОНВЕРСІЯ ТА ЕКОНОМІКА ПОСТПОСЕЛЕНСЬКИХ ТЕРИТОРІЙ.....	44
<b>В. А. Назаренко</b> ПРОСТОРОВО-ЧАСОВА МОДЕЛЬ ВАГОВОЇ МАРШРУТИЗАЦІЇ ДЛЯ ПІДТРИМКИ ЕКОНОМІЧНОГО ПЛАНУВАННЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО ЗЕМЛЕКОРИСТУВАННЯ У ПРИМІСЬКІЙ ЗОНІ КИЇВСЬКОЇ АГЛОМЕРАЦІЇ .....	72

### ГЕОДЕЗИЧНИЙ СУПРОВІД БУДІВНИЦТВА ЖИТЛА, ПРОМИСЛОВИХ І ТРАНСПОРТНИХ ОБ'ЄКТІВ

<b>Р. М. Рудий, Ю. О. Кисельов, О. Я. Кравець, П. М. Боровик, М. В. Шемякін</b> РОЗРАХУНОК КОЕФІЦІЄНТУ ОСВІТЛЕНOSTІ ТА ЕНЕРГЕТИЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ДАХІВ БУДИНКІВ ПРИ ПРОЄКТУВАННІ ЗАБУДОВИ НАСЕЛЕНИХ ПУНКТИВ .....	89
<b>А. В. Чугай, М. Г. Сербов, Н. В. Данілова</b> ГЕОДЕЗИЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МОНІТОРИНГУ ДЕФОРМАЦІЙ ЗЕМЕЛЬ У КОНТЕКСТІ ТЕХНОГЕННИХ НАВАНТАЖЕНЬ ТА КЛІМАТИЧНИХ ТРАНСФОРМАЦІЙ.....	100
<b>І. О. Удовенко, Н. О. Арсеньєва, М. В. Шемякін</b> ІНТЕЛЕКТУАЛІЗАЦІЯ ЕЛЕКТРОННИХ ГЕОДЕЗИЧНИХ ПРИЛАДІВ У СИСТЕМАХ ПРОСТОРОВОГО УПРАВЛІННЯ ЯК ОСНОВА ВПРОВАДЖЕННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ В ГЕОІНФОРМАЦІЙНЕ СЕРЕДОВИЩЕ .....	113

### ЗЕМЕЛЬНИЙ КАДАСТР, ОЦІНКА ЗЕМЛІ ТА НЕРУХОМОГО МАЙНА

<b>Д. Л. Новаковський, Л. Р. Скрипник, І. О. Новаковська</b> БАГАТОРІВНЕВА МОДЕЛЬ ОЦІНЮВАННЯ ВПЛИВУ ОБ'ЄКТІВ КУЛЬТУРНОЇ СПАДЩИНИ НА ВАРТІСТЬ МІСЬКИХ ЗЕМЕЛЬ І НЕРУХОМОСТІ.....	127
<b>О. М. Грищенко, Є. В. Бутенко, В. О. Грищенко, В. С. Божок, Д. В. Винник</b> ОЦІНКА ЕКОЛОГО-АГРОХІМІЧНОГО СТАНУ ЗЕМЕЛЬ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО ПРИЗНАЧЕННЯ НА ОСНОВІ АВТОМАТИЗОВАНОГО ВІДБОРУ ГРУНТОВИХ ЗРАЗКІВ.....	144
<b>В. В. Страшок, Л. А. Райчук</b> ЕКОЛОГО-ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА ОХОЛОДЖУВАЛЬНИХ ЕКОСИСТЕМНИХ ПОСЛУГ ЗЕЛЕНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ З УРАХУВАННЯМ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СТІЙКОСТІ В УМОВАХ УПРАВЛІННЯ МІСЬКИМИ ЗЕМЛЯМИ.....	163
<b>А. В. Пиріг</b> АНАЛІЗ КАРТОГРАФІЧНИХ МОДЕЛЕЙ ЕКОЛОГІЧНОЇ СТАБІЛЬНОСТІ ТА АНТРОПОГЕННОГО НАВАНТАЖЕННЯ ЖИДАЧІВСЬКОЇ МТГ .....	179

## CONTENTS

### GEOINFORMATION TECHNOLOGIES FOR MODELING THE STATE OF GEOSYSTEMS

- Y. Dorosh, B. Zayachkivska, R. Kharytonenko, D. Melnyk**  
APPLICATION OF THE NESTED ITERATION METHOD FOR AUTOMATED  
CARTOGRAPHING..... 4
- V. Chabaniuk, O. Dyshlyk**  
STANDARDIZATION OF THE MSF AGILE METHODOLOGY USING ISO/IEC 24744... 15
- R. Zinenko**  
THE STATE OF SERVICE-ORIENTED TECHNOLOGIES FOR THE  
GEOVISUALIZATION OF GEOSPATIAL DATA IN UKRAINE AND TRENDS IN THEIR  
DEVELOPMENT ..... 32

### LAND MANAGEMENT AND LAND PLANNING

- A. Martyn, L. Hunko, A. Poltavets, O. Chumachenko**  
LANDS OF DESTROYED SETTLEMENTS IN UKRAINE: LEGAL REGIME, LAND USE  
CONVERSION, AND THE ECONOMICS OF POST-SETTLEMENT TERRITORIES ..... 44
- V. Nazarenko**  
SPATIO-TEMPORAL ECONOMIC PLANNING WEIGHTED ROUTING MODEL FOR  
AGRICULTURAL LAND-USE MANAGEMENT IN PERI-URBAN ZONES: A CASE  
STUDY OF KYIV AGGLOMERATION ..... 72

### GEODETTIC SUPPORT IN THE CONSTRUCTION OF RESIDENTIAL, INDUSTRIAL AND TRANSPORT FACILITIES

- R. Rudyi, Yu. Kyselov, O. Kravets, P. Borovyk, M. Shemiakin**  
CALCULATION OF THE ILLUMINANCE COEFFICIENT AND ENERGY  
PERFORMANCE OF BUILDINGS IN THE DESIGN OF URBAN DEVELOPMENT . 89
- A. Chuhai, M. Serbov, N. Danilova**  
GEODETTIC SUPPORT FOR MONITORING CHANGES IN LAND DEFORMATION  
UNDER ANTHROPOGENIC LOADS AND CLIMATE CHANGE ..... 100
- I. Udovenko, N. Arsenieva, M. Shemiakin**  
THE INTELLECTUALIZATION OF ELECTRONIC SURVEYING INSTRUMENTS  
IN SPATIAL MANAGEMENT SYSTEMS AS A FOUNDATION FOR THE  
INTEGRATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE INTO THE GEOINFORMATION  
ENVIRONMENT ..... 113

### LAND CADASTRE, LAND AND REAL ESTATE APPRAISAL

- D. Novakovskiy, L. Skrypnyk, I. Novakovska**  
A MULTI-LEVEL MODEL FOR ASSESSING THE IMPACT OF CULTURAL  
HERITAGE OBJECTS ON THE COST OF URBAN LAND AND REAL ESTATE ..... 127
- O. Hryshchenko, Ye. Butenko, V. Hryshchenko, V. Bozhok, D. Vynnyk**  
ASSESSMENT OF THE ECOLOGICAL AND AGROCHEMICAL CONDITION OF  
AGRICULTURAL LANDS BASED ON AUTOMATED SOIL SAMPLING ..... 144
- V. Strashok, L. Raichuk**  
ECOLOGICAL AND ECONOMIC ASSESSMENT OF THE COOLING ECOSYSTEM  
SERVICES OF GREEN INFRASTRUCTURE CONSIDERING FUNCTIONAL  
RESILIENCE IN URBAN LAND MANAGEMENT..... 163
- A. Pyrih**  
ANALYSIS OF CARTOGRAPHIC MODELS OF ECOLOGICAL STABILITY  
AND ANTHROPOGENIC LOAD OF THE ZHYDACHIV URBAN TERRITORIAL  
COMMUNITY ..... 179

# ГЕОІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ МОДЕЛЮВАННЯ СТАНУ ГЕОСИСТЕМ

ISSN 2306-1677 (Print) ISSN 2518-7325 (On-line)

Отримано: 06.05.2026; Прийнято: 02.06.2026; Опубліковано: 30.06.2026;;

УДК 004.424.22:528.235

<http://dx.doi.org/10.31548/zemleustriy2026.02.01>

## ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ ВКЛАДЕНОЇ ІТЕРАЦІЇ ДЛЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО КАРТОГРАФУВАННЯ

**Й.М. ДОРОШ,**

*доктор економічних наук, професор, академік НААН України,*

*E-mail: doroshjosyp@gmail.com*

*RCID: 0000-0002-1764-6188*

*Інститут землекористування НААН України*

**Б.Б. ЗАЯЧКІВСЬКА,**

*кандидат економічних наук,*

*E-mail: b\_zayachkivska@nubip.edu.ua*

*ORCID: 0009-0003-0962-5998*

*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

**Р.А. ХАРИТОНЕНКО,**

*кандидат економічних наук,*

*E-mail: kharytonenkor@gmail.com*

*ORCID: 0000-0002-7992-3339*

*Інститут землекористування НААН України*

**Д.М. МЕЛЬНИК,**

*кандидат економічних наук,*

*E-mail: melnykdenys@gmail.com*

*ORCID: 0000-0002-3714-9592*

*Інститут землекористування НААН України*

**Анотація.** У статті розглядається метод автоматизації створення серії картографічних матеріалів на основі інтеграції інструментарію QGIS Atlas та мови програмування Python. Метою дослідження є оптимізація процесу підготовки багатосторінкових тематичних атласів для великих масивів просторових даних. Для досягнення поставленої мети застосовано авторський підхід до інтеграції алгоритмів вкладеної ітерації, що дозволяє гнучко адаптувати просторові межі та індивідуальні параметри візуального відображення для

кожного елемента системи. Ключовим елементом є розроблений алгоритм, що базується на обробці події `featureChanged`, що забезпечує автоматичну синхронізацію атрибутів району з відповідними файлами стилів `.qml`. Модель апробовано на масиві даних обсягом понад 20 тис. контурів. Результати апробації підтвердили високу ефективність методу. Швидкість генерації серії карт зростає у приблизно 20 разів порівняно з традиційними методами, при повному виключенні суб'єктивних помилок візуалізації. Запропонований підхід становить собою універсальну методологічну платформу для автоматизованої трансформації складних просторових датасетів у високоточні графічні моделі. Дане рішення забезпечує можливість оперативного представлення результатів багатофакторних досліджень у будь-якій галузі, де вимагається поєднання високої інтенсивності обробки великих масивів інформації з дотриманням індивідуальних параметрів візуальної інтерпретації для кожного окремого елемента системи.

**Ключові слова:** автоматизоване картографування, QGIS Atlas, PyQGIS, агрохімічний моніторинг, ГІС-автоматизація, метод вкладеної ітерації, динамічна стилізація, тематичні атласи, Python API, файли стилів `*.qml`, автоматизація макетів, алгоритмізація картографування.

---

### Актуальність

Тематичне картографування є обов'язковим інструментом для забезпечення потреб державного управління, оборони, територіального планування та моніторингу навколишнього природного середовища [1] та передбачає відображення об'єктів і явищ у конкретних галузях (економіка, екологія, сільське господарство тощо), що потребує високої точності та регулярного оновлення даних. Традиційне створення тематичних карт для великої кількості адміністративних одиниць (районів, громад, населених пунктів, сільськогосподарських полів) є рутинним процесом, що потребує значних часових витрат. Кожна карта вимагає індивідуального налаштування фільтрації шарів, зумування та застосування відповідної шкали кольорів.

QGIS з відкритим кодом (Open Source) на сьогодні є однією з найпопулярніших геоінформаційних систем

завдяки можливостям безкоштовного використання і постійних оновленням [2]. Дана програма широко застосовується в землевпорядкуванні, агрономії, лісівництві, управлінні водними ресурсами, екології, містобудуванні та державному управлінні для обробки великих масивів просторових даних. Завдяки кросплатформеності та підтримці мови високого рівня програмування Python, QGIS став популярним інструментом для створення складних картографічних звітів, не тільки для візуалізації, але і автоматизації циклічних завдань у моніторингу земельних ресурсів.

Вибір програмного середовища QGIS для реалізації методу вкладеної ітерації базується на висновках S. Steiniger та A. Hunter щодо функціональної спроможності вільного ПЗ. Автори зазначають, що сучасні відкриті ГІС-платформи забезпечують необхідну гнучкість для вирішення специфічних задач геообробки, що дозволяє інтегрувати складні алгоритми автоматизації без значних ка-

піталовкладень [3]. Необхідність автоматизації картографічного процесу підтверджується сучасними тенденціями у цифровому ґрунтознавстві (Digital Soil Mapping) [4]. Застосування інтелектуальних моделей машинного навчання для прогнозування просторової мінливості характеристик ґрунтів, таких як вміст органічного вуглецю та рівень рН, вимагає адекватних інструментів динамічної візуалізації [5]. На думку Р. Еспінеля та співавторів використання штучного інтелекту та автоматизованих алгоритмів дозволяє суттєво скоротити часові витрати на обробку просторових даних, забезпечуючи при цьому високу ефективність у прийнятті управлінських рішень [6].

Впровадження алгоритмів автоматизованої генерації карт забезпечує застосування визначених шаблонів, надає можливість створення тисяч тематичних планів за лічені години, що фізично неможливо при ручному компонуванні та підвищує якість прийняття рішень так як установи можуть отримувати актуальні атласи в режимі реального часу, що дозволяє миттєво реагувати на негативні зміни в стані земельних ресурсів. Тому використання ГІС-інструментарію в землеустрої України є не просто технічним покращенням, а фундаментальним механізмом трансформації всієї галузі [7], а розвиток ГІС-технологій дозволяє вітчизняним установам відповідати міжнародним стандартам управління даними та забезпечувати прозорість моніторингу територій.

### ***Аналіз останніх досліджень та публікацій***

Б. Сінгх підтверджує, що ГІС використовується міністерствами

(наприклад, USDA) для захисту врожаю, розв'язання економічних питань та дослідження стану ґрунтів. Сільськогосподарські ГІС здатні трансформувати величезні обсяги даних у наочні карти для підтримки прийняття рішень, що робить QGIS незамінним інструментом у моніторингу стану ґрунтового покриву і сільськогосподарських посівів завдяки його технічним можливостям та доступності. Сінг оцінює високу точність даних на рівні 90-го процентиля, однак процес візуалізації таких масштабних масивів залишається трудомістким, що зумовлює необхідність впровадження алгоритмів автоматизованого динамічного картографування [8].

Більшість існуючих робіт присвячені або QGIS Atlas без Python, або повній генерації карт через Python без використання інтерфейсу QGIS. Так, Аніта Гразер описує автоматизацію через використання макетів та атласу як фундаментальну складову серійного картографування, але вказує на його обмеження, так як програмний модуль сам по собі не передбачає змінювання файлів стилів (.qml) для кожного об'єкта [9].

За словами Г. Шермана, поєднання QGIS та Python (PyQGIS) дозволяє розширювати інструментарій ГІС з відкритим кодом, створюючи скрипти для виконання складних автоматизованих завдань, що неможливо реалізувати стандартними засобами інтерфейсу. Автор розглядає Python як основний інструмент для написання плагінів та розширення API [10]. Отже, більшість прикладів автоматизації стосуються обробки даних у консолі, тоді як метод вкладеної ітерації інтегрує Python-скрипти безпосередньо в цикл роботи серійного

компонувальника макетів (Atlas) в один результуючий файл.

Г. Шерман обґрунтовує концепцію розширення базового інструментарію ГІС шляхом інтеграції Python 3 з QGIS API для виконання складних автоматизованих завдань. В основу методу вкладеної ітерації покладено принцип ієрархічного управління об'єктами проекту. Зокрема, зіткнувшись із обмеженнями прямого маніпулювання параметрами рендерера (QgsRuleBasedRenderer), що часто призводить до помилок звернення до атрибутів (setClassAttribute), було застосовано стратегію «зовнішнього управління» шаром.

Такий підхід, згідно з дослідженнями Шермана, полягає у зверненні до об'єктів вищого рівня – дерева шарів (Layer Tree) та API макетів (Layout API). Замість спроб деструктивної модифікації внутрішньої структури рендерера, алгоритм реалізує: використання методу loadNamedStyle для завантаження готових конфігурацій .qml, що забезпечує стабільність візуалізації; застосування методу setSubsetString для прямого SQL-фільтрування даних на рівні провайдера, що дозволяє коректно відображати лише релевантні об'єкти в межах поточного кадру атласу; використання сигналу atlas.featureChanged як тригера для ініціалізації циклу оновлення карти, що є класичним прийомом архітектури PyQGIS для створення складних динамічних систем.

К. Менке при створенні макетів та автоматизації через Atlas наголошує на важливості автоматизації для професійної картографії, щоб уникнути повторюваних ручних дій [11].

Отже, більшість авторів зосереджуються на статичних шаблонах, тоді як метод вкладеної ітерації за

допомогою PyQGIS реалізує автоматичне перехоплення подій зміни сторінки для миттєвого завантаження унікальних файлів стилів (.qml) та жорсткої фільтрації атрибутів. Це дозволяє не просто масштабувати карту, а повністю змінювати її аналітичний зміст (легенду та колірну шкалу) без участі оператора.

**Мета даного дослідження:** мета роботи полягає в оптимізації процесів генерації багатосторінкових тематичних атласів шляхом впровадження алгоритмів автоматизованої стилізації та ітераційної обробки геоданих у середовищі QGIS.

### **Матеріали і методи дослідження**

Досягнення поставленої мети забезпечується впровадженням розробленого авторами підходу до організації вкладених ітерацій, що базується на ієрархічній дворівневій архітектурі управління процесом картографування. На першому рівні первинна ітерація засобами модуля QGIS Atlas забезпечує послідовну обробку просторових об'єктів керуючого шару, здійснюючи автоматичне масштабування, прив'язку геометрії, формування назв та нумерацію сторінок атласу. На другому рівні вторинна ітерація реалізується через Python API (PyQGIS) і відповідає за семантичне управління картографічним відображенням: динамічне завантаження файлів стилів (.qml) методом loadNamedStyle, жорстку фільтрацію просторових об'єктів на рівні провайдера даних методом setSubsetString із застосуванням SQL-запитів, а також оперативне управління шарами-масками в режимі реального часу. Синхронізацію між рівнями ітерації забезпечено через

обробку події `atlas.featureChanged`, яка виступає тригером для ініціалізації циклу оновлення картографічного відображення при переході між об'єктами. Такий підхід реалізує принцип «зовнішнього управління» шаром, при якому модифікація стилістичних параметрів здійснюється через звернення до об'єктів вищого рівня – дерева шарів (Layer Tree) та API макетів (Layout API). Апробацію методу проведено на масиві даних обсягом понад 20 тис. контурів із застосуванням порівняльного аналізу часових витрат між ручним та автоматизованим способами підготовки серії тематичних карт. Оцінку ефективності здійснено на модельному прикладі створення атласу.

### ***Результати дослідження та їх обговорення***

Для реалізації методу вкладеної ітерації потрібна підготовка вхідних компонентів: стилів, шарів даних для візуалізації та межі територіального охоплення. Одним із найбільш часозатратних даних є формування набору файлів стилів QGIS (QML). На відміну від статичного оформлення, ці файли містять умовне форматування через логіку розбиття показників на класи чи групи (наприклад, крутизна схилів, якість ґрунтового покриву, типи культур, вид деградації, ступінь придатності до вирощування тощо), налаштовані колірні рампи (Color Ramps), товщину меж та прозорість об'єктів, правила відображення, що дозволяють скрипту миттєво змінювати зовнішній вигляд шару при переході від одного показника до іншого.

Атрибутивно-просторові шари даних, контури полів з геометрією і ко-

ординатною прив'язкою, охоплюють масив інформації, передбачений до візуалізації. Кожне поле атрибутивної таблиці даних просторових шарів може бути використане для візуалізації значень. Передбачається наявність в ньому ключового поля для зв'язку з територіальними межами.

Межі територіального охоплення (Coverage Layers) являє собою управлінський шар атласу (наприклад, межі адміністративних районів, населених пунктів, об'єктів природно-сільськогосподарського районування тощо), який забезпечує просторовий фільтр просторових об'єктів. Саме кожна геометрична одиниця шару стає окремою сторінкою атласу. В той же час просторовий оверлей: шар слугує маскою або межею, яка визначає, які саме об'єкти з основного масиву даних повинні потрапити у поточну компоновку.

Використовуючи вхідні дані скрипт на базі PyQGIS виступає забезпечує їх синергію:

- обирається межа району (оверлейний шар);
- фільтруються за обраною межею контури (шар даних);
- накладається на контури, призначені для візуалізації, відповідна шкала класифікації (файл стилю).

Такий підхід дозволяє перетворити процес, що раніше тривав тижні ручної роботи, на автоматизований цикл, тривалість якого обмежена лише швидкістю рендерингу PDF-файлу. В той же час такий підхід робить систему автоматизованого картографування динамічною та доступною до редагування, в тому числі додавання нових характеристик в просторовий шар та нових стилів вже після налаштування генерування атласу. Для цього достатньо лише

додати новий файл стилю у папку, абсолютно не змінюючи при цьому основний код програми.

Після готовності вхідних даних створюється макет атласу, до якого входять: титульна сторінка, сторінка укладачів, зміст атласу, тематичні карти. Картографічні матеріали оформляються за загальноприйнятими вимогами, зокрема, шаблон сторінки включає назву карти, стрілку напрямку на північ, карту, легенду, масштаб, номер сторінки тощо).

Рівень 3 є найважливішим блоком, так як Python-контролер та запропонований підхід вкладеної ітерації (Processing) забезпечує логіку та автоматизацію створення та динамічного оновлення макету атласу. Реалізація алгоритму базується на подієво-орієнтованій архітектурі PyQGIS, де тригером для виконання коду є системний сигнал зміни активного об'єкта макета. Скрипт перехоплює подію переходу модуля Atlas на новий елемент керуючого шару і автоматично ініціює вкладену процедуру, при якій зчитує атрибутивні дані поточного району, виконує SQL-фільтрацію та динамічно адаптує графічні стилі. На кожному кроці ітерації алгоритм першочергово зчитує атрибутивне ім'я поточного району, що слугує ключо-

вим ідентифікатором для подальшої семантичної обробки. Використовуючи принципи вкладеної логіки, система автоматично звертається до зовнішнього сховища для пошуку відповідного файлу стилів у форматі .qml, назва якого корелює з поточним показником та районом (наприклад, район\_1\_slope.qml). Після ідентифікації потрібного файлу програма ініціює метод loadNamedStyle(), який здійснює миттєве оновлення умовних позначень та кольорових шкал у проекті без необхідності перезавантаження шарів. Паралельно з цим застосовується метод setSubsetString(), який виконує фільтрацію даних через SQL-запити, що дозволяє локалізувати та відобразити виключно ті геометрії (контури), які просторово належать до межі поточного району. Завершальним етапом кожної ітерації є примусове оновлення динамічних елементів макету, таких як текстові заголовки та зміст легенди, після чого сформована сторінка передається на рендеринг, а цикл автоматично переходить до наступного об'єкта. Такий підхід забезпечує повну ідентичність візуальної моделі змісту карти реальному стану вхідних даних для кожної окремої одиниці картографування.

На завершальному етапі функціо-

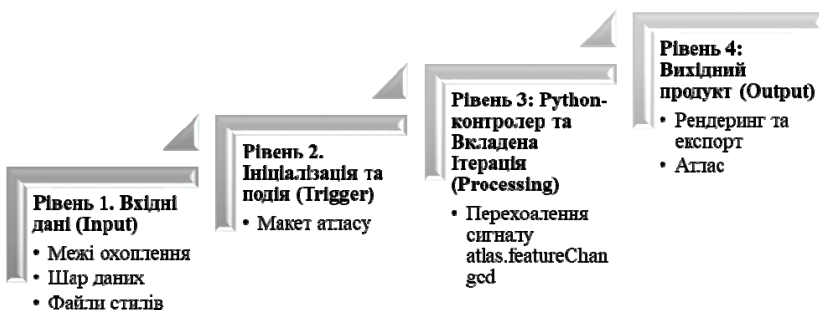


Рис. 1. Концептуальна модель автоматизованого динамічного картографування методом вкладеної ітерації (за допомогою PyQGIS)

нування системи ініціюється автоматизований процес рендерингу та експорту сформованих картографічних матеріалів у цифрові формати високої роздільної здатності, такі як PDF або багатосторінкові растрові зображення. Програмне забезпечення консолідує всі попередньо налаштовані динамічні параметри, забезпечуючи коректну візуалізацію геометрій та їх відповідність метаданим проекту (рис. 1).

Кінцевим результатом цього процесу є цифровий атлас, представлений у вигляді впорядкованої серії карт. Кожна сторінка такого атласу характеризується не лише унікальним просторовим охопленням конкретної адміністративної одиниці, а й персоналізованою візуальною моделлю. Реалізована методика вкладеної ітерації, завдяки якій кожна карта містить індивідуальну шкалу кольорів та умовні позначення, що суворо відповідають специфіці показника (ознаки) для даного району. Такий підхід забезпечує високий рівень інформативності та наочності картографічних матеріалів, мінімізуючи ймовірність суб'єктивних помилок при інтерпретації великих масивів просторових даних (рис. 2).

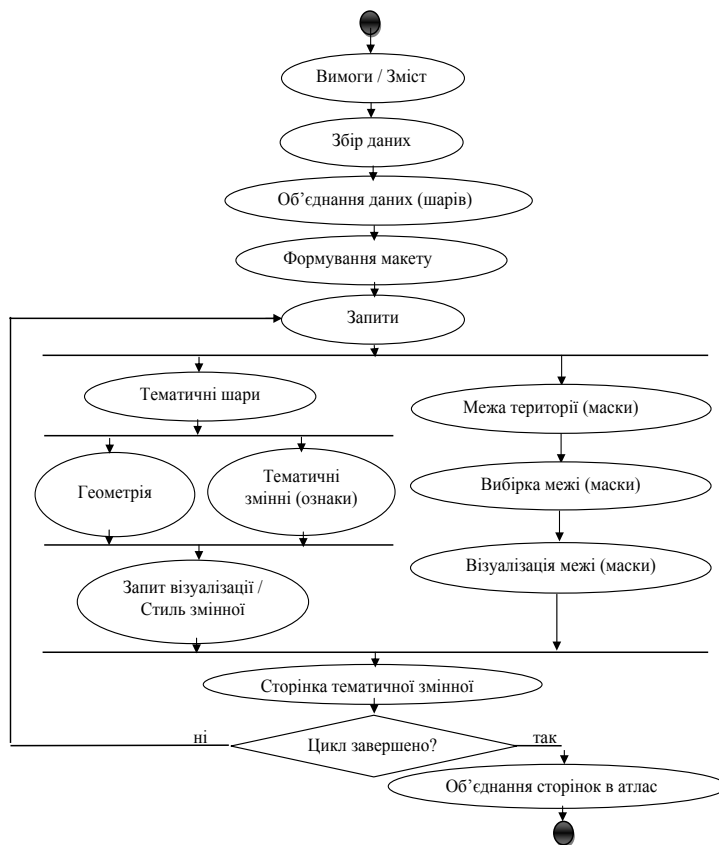
Розроблена функціональна модель відображає процес трансформації вихідних даних у фінальний атлас і складається з трьох ключових етапів:

- підготовчий етап передбачає визначення вимог до змісту, збір та просторове об'єднання тематичних шарів у єдину базу геоданих, що завершується формуванням базового графічного макету в середовищі QGIS;
- етап ітераційної обробки (ядро методу) з дії «Запити» та реалізує паралельну обробку тематичної та територіальної компонент.

Ліва гілка (тематична компонента) алгоритму відповідає за фільтрацію геометрії та семантичних ознак із подальшим динамічним застосуванням стилів (.qml). Вона включає такі дії: формування тематичних шарів, поєднання геометричних примітивів з тематичними змінними, а також запит візуалізації та стиль змінної. Права гілка (територіальна компонента) забезпечує коректне візуальне обмеження території дослідження через механізм маскування меж та її графічного рендерингу для конкретної сторінки. Вона включає такі дії: визначення межі території, вибірка межі (маски) та візуалізація межі;

- на етапі синтезу зациклена структура алгоритму забезпечує автоматичну генерацію сторінок для кожної тематичної змінної (маски), які на фінальному кроці об'єднуються в цілісний атлас. Ключовим елементом управління є вузол прийняття рішень – на схемі логічний ромб для перевірки поставленої умови, – «Цикл завершено?». Перевіряючи чи у базі даних залишаються необроблені геометричні контури, процес за умовним переходом «ні» повертається на новий крок ітерації до блоку «Запити». Якщо умовний перехід фіксує статус «так» (усі територіальні одиниці та показники опрацьовано), алгоритм переходить до фінальної дії – автоматичної консолідації та об'єднання всіх згенерованих сторінок в єдиний цілісний атлас через дію «Об'єднання сторінок в атлас».

Оцінка економії часу при застосуванні автоматизованого динамічного картографування методом вкладеної ітерації порівняно з ручним методом продемонстрована в табл. 1 на прикладі створення атласу для 50 адміністративних одиниць з 5 різними



**Рис. 2. Функціональна модель автоматизованого динамічного картографування методом вкладеної ітерації (за допомогою PyQGIS)**

### 1. Порівняльний аналіз часових витрат при ручному та автоматизованому методах картографування

Етап роботи	Ручний метод (хв/карта)	Автоматизований метод
Підготовка шаблону	60 хв	120 хв (в т.ч. написання коду)
Налаштування фільтрації	5 хв	0 хв (автоматично)
Зміна стилю (.qml)	3 хв	0 хв (автоматично)
Зум та компоунання	2 хв	0 хв (автоматично)
Експорт та нумерація	2 хв	10 хв (на весь проект)
<b>Разом на 250 карт</b>	<b>~3000 хв (50 годин)</b>	<b>~150 хв (2.5 години)</b>

показниками для кожної з них (разом – 250 карт).

Автоматизація дозволяє пришвидшити процес створення серії тема-

тичних карт з однаковою стилістикою у 20 разів. Економія часу складає близько 95% при роботі з великими масивами даних. Застосована мето-

дика дозволяє працювати з великими БД геоданих, не навантажуючи оперативну пам'ять завдяки динамічній SQL-фільтрації.

За більш детальною інформацією про автоматизацію картографування, в тому числі і надання детальних методичних рекомендацій по застосуванню, звертайтеся до авторів статті.

### **Висновки та перспективи**

Впровадження запропонованого підходу вкладеної ітерації у процеси тематичного картографування становить якісний перехід від ручного компонування до повністю автоматизованого інтелектуального середовища генерації геоданих. Застосування зазначеної методики для тематичного картографування дозволяє уникнути людського фактору (помилки при ручній зміні стилів), забезпечує ідентичність оформлення всіх сторінок атласу та вивільняє ресурси фахівця для аналітичної роботи замість технічної підготовки карт.

Результати дослідження доводять, що інтеграція Python-алгоритмів із функціоналом QGIS Atlas дозволяє досягти 20-кратного прискорення підготовки атласів. Запропонований підхід створює надійне технологічне підґрунтя для цифрової трансформації установ, дозволяючи фахівцям фокусуватися на стратегічному аналізі просторових закономірностей, що є критично важливим для сталого управління земельними і іншими природними ресурсами в сучасних умовах.

---

### **Список використаної літератури**

1. Про затвердження Порядку загальнодержавного топографічного і тематичного картографування : Постанова Кабі-

нету Міністрів України від 04 верес. 2013 р. № 661. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/661-2013-п> (дата звернення: 05.05.2024).

2. QGIS Project. QGIS Documentation: The latest guide to using QGIS for geoprocessing and map creation. URL: <https://qgis.org> (дата звернення: 03.04.2026).
3. Steiniger S., Hunter A. J. The 2012 free and open source GIS software map – A guide to help select the right software for GIS projects. *Computers, Environment and Urban Systems*. 2013. Vol. 39. P. 136–150. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compenvurb-sys.2012.10.003>.
4. Hengl T., Miller B. A., Aldabaa A. A. et al. Digital mapping of soil properties using ensemble machine learning. *Scientific Reports*. 2017. Vol. 7. № 1. P. 1-15. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-017-18274-6>.
5. Digital Mapping of Soil Properties Using Ensemble Machine Learning Approaches in an Agricultural Lowland Area of Lombardy, Italy / O. D. Adeniyi, A. Brenning, A. Bernini, S. Brenna, M. Maerker. *Land*. 2023. Vol. 12, No. 2. P. 494. DOI: <https://doi.org/10.3390/land12020494>.
6. Artificial Intelligence in Agricultural Mapping: A Review / R. Espinel, G. Herrera, J. L. Rivadeneira Garcia, P. C. Escandón-Panchana. *Agriculture*. 2024. Vol. 14, No. 7. P. 1071. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture14071071>.
7. Dorosh Y., Dorosh A., Derkul'skiy R., Brat'nova M. Application of GIS in land management on the example of Ukraine. *Acta Scientiarum Polonorum Administratio Locorum*. 2024. Vol. 23 (1). P. 31–41.
8. Balwan Singh. Geographical Information System in Agriculture. *International Journal of Scientific Research in Science and Technology*. 2018. Vol. 4, Issue 2. P. 702–705. URL: [https://academia.edu/37114891/Geographical\\_Information\\_System\\_in\\_Agriculture](https://academia.edu/37114891/Geographical_Information_System_in_Agriculture) (дата звернення: 30.03.2026).

9. Graser A. Learning QGIS. 3rd Edition. Birmingham : Packt Publishing Ltd, 2016. 210 p. URL: [https://books.google.com.ua/books/about/Learning\\_QGIS\\_Third\\_Edition.html?id=rUXicWAAQBAJ](https://books.google.com.ua/books/about/Learning_QGIS_Third_Edition.html?id=rUXicWAAQBAJ) (дата звернення: 03.04.2026).
10. Sherman G. The PyQGIS Programmer's Guide: Extending QGIS 3 with Python 3. Locate Press, 2018. 252 p. URL: <https://locatepress.com/book/ppg3> (дата звернення: 03.04.2026).
11. Menke K. Mastering QGIS. 2nd Edition. Birmingham : Packt Publishing, 2019. 404 p.

### References

1. Cabinet of Ministers of Ukraine. (2013, September 4). Pro zatverdzhennia Poriadku zahalnodержавного topohrafichnoho i tematychnoho kartohrafuvannia [On approval of the Procedure for national topographic and thematic cartography] (Resolution No. 661). Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/661-2013-n>
2. QGIS Project. (n.d.). QGIS documentation: The latest guide to using QGIS for geoprocessing and map creation. Available at: <https://qgis.org>
3. Steiniger, S., & Hunter, A. J. (2013). The 2012 free and open source GIS software map – A guide to help select the right software for GIS projects. *Computers, Environment and Urban Systems*, 39, 136–150. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compenurbysys.2012.10.003>
4. Hengl, T., Miller, B. A., Aldabaa, A. A., et al. (2017). Digital mapping of soil properties using ensemble machine learning. *Scientific Reports*, 7(1), 1–15. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-017-18274-6>
5. Adeniyi, O. D., Brenning, A., Bernini, A., Brenna, S., & Maerker, M. (2023). Digital mapping of soil properties using ensemble machine learning approaches in an agricultural lowland area of Lombardy, Italy. *Land*, 12(2), 494. DOI: <https://doi.org/10.3390/land12020494>
6. Espinel, R., Herrera, G., Rivadeneira Garcia, J. L., & Escandón-Panchana, P. C. (2024). Artificial intelligence in agricultural mapping: A review. *Agriculture*, 14(7), 1071. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture14071071>
7. Dorosh, Y., Dorosh, A., Derkul'skiy, R., & Bratinova, M. (2024). Application of GIS in land management on the example of Ukraine. *Acta Scientiarum Polonorum Administratio Locorum*, 23(1), 31–41.
8. Singh, B. (2018). Geographical information system in agriculture. *International Journal of Scientific Research in Science and Technology*, 4(2), 702–705. Available at: [https://academia.edu/37114891/Geographical\\_Information\\_System\\_in\\_Agriculture](https://academia.edu/37114891/Geographical_Information_System_in_Agriculture)
9. Graser, A. (2016). Learning QGIS (3rd ed.). Birmingham: Packt Publishing Ltd, 210. Available at: [https://books.google.com.ua/books/about/Learning\\_QGIS\\_Third\\_Edition.html?id=rUXicWAAQBAJ](https://books.google.com.ua/books/about/Learning_QGIS_Third_Edition.html?id=rUXicWAAQBAJ)
10. Sherman, G. (2018). The PyQGIS programmer's guide: Extending QGIS 3 with Python 3. Locate Press, 252. Available at: <https://locatepress.com/book/ppg3>
11. Menke, K. (2019). Mastering QGIS (2nd ed.). Birmingham: Packt Publishing, 404.

**Dorosh Y., Zaiachkivska B., Kharytonenko R., Melnyk D.**

### **APPLICATION OF THE NESTED ITERATION METHOD FOR AUTOMATED MAPPING**

*LAND MANAGEMENT, CADASTRE AND LAND MONITORING 2'26: 4-14*

<http://dx.doi.org/10.31548/zemleustriy2026.02.01>

**Abstract.** The article considers a method for automating the creation of a series of cartographic materials based on the integration of QGIS Atlas tools and the Python programming language. The

*study aims to optimize the preparation process of multi-page thematic atlases for large spatial datasets. An original approach to applying the nested iteration technique has been introduced, which allows for dynamic changes not only in the spatial extent but also in the semantic styling of the display for each individual object. A key element is the developed algorithm based on the processing of the featureChanged event, which ensures automatic synchronization of district attributes with the corresponding .qml style files. The model was tested on a dataset exceeding 20,000 contours.*

*The testing results confirmed the high efficiency of the method. The speed of map series generation increased approximately 20-fold compared to traditional methods, while completely eliminating subjective visualization errors. The proposed approach represents a universal methodological platform for the automated transformation of complex spatial datasets into high-precision graphical models. This solution provides the capability for rapid presentation of multifactor research results in any field requiring a combination of high-intensity processing of large datasets with adherence to individual visual interpretation parameters for each unique system element.*

**Keywords:** *automated mapping, QGIS Atlas, PyQGIS, agrochemical monitoring, GIS automation, nested iteration method, dynamic styling, thematic atlases, Python API, \*.qml style files, layout automation, mapping algorithmization.*

---

## СТАНДАРТИЗАЦІЯ МЕТОДОЛОГІЇ MSF AGILE З ДОПОМОГОЮ ISO/IEC 24744

---

**В. С. ЧАБАНЮК,**

кандидат фізико-математичних наук,  
старший науковий співробітник,  
E-mail: [chab3@i.ua](mailto:chab3@i.ua)

ORCID: 0000-0002-4731-7895

Інститут географії Національної академії наук України

**О. П. ДИШЛИК,**

виконавчий директор  
E-mail: [dyshlyk@geomatrica.kiev.ua](mailto:dyshlyk@geomatrica.kiev.ua)

ORCID: 0000-0002-8066-3925

ТОВ «Геоматичні рішення»

**Анотація.** У роботі пропонується стандартизація методології розроблення програмного забезпечення MSF Agile. Вона здійснюється з допомогою метамоделі методологій із стандарту ISO/IEC 24744. Оригінал MSF Agile називається MSF for Agile Software Development і позначається MSF4ASD. MSF4ASD реалізована в MSF версії 4.0 у 2005 р. в інструменті/технології Visual Studio Team System. Тому тут вона називається прикладом конкретної методології розроблення програмного забезпечення. Без реалізації методологія існує, але її краще називати конкретизованою узагальненою методологією MSF з загрозою втрати практичності.

З огляду на актуальність методологій Agile, MSF Agile може бути практично корисною реалізацією узагальненої методології MSF. Конкретну методологію MSF Agile можливо отримати двома способами: 1) двоохроковою специфікацією або 2) стандартизацією з наступною специфікацією. У цій статті вибрано другий спосіб – спочатку виконується стандартизація MSF Agile з допомогою метамоделі методологій розроблення із стандарту ISO/IEC 24744. Після цього простіше виконувати практично корисну специфікацію, оскільки задача стає типовою. Реалізація буде можливою з використанням різних інформаційних технологій (IT), включаючи IT Microsoft. Конкретна методологія може вже безпосередньо використовуватися на практиці.

У трьох основних розділах цієї роботи: 1) вводиться засіб стандартизації – описуються потрібні елементи метамоделі методологій розроблення ПЗ із стандарту ISO/IEC 24744; 2) нагадується інформація про MSF4ASD, яка тут спрощена до MSF Agile; 3) MSF Agile представляється з допомогою елементів метамоделі із стандарту ISO/IEC 24744. Цим самим показується, як зробити

*MSF Agile стандартизованою методологією. Потім з неї однокроковою редукцією можливо отримати конкретну методологію, яка може конструктивно задовольнити Каркасний підхід і полегшити перехід до Базованої на Патернах Просторової Інженерії.*

**Ключові слова:** методологія Microsoft Solutions Framework (MSF) Agile, ISO/IEC 24744 стандартизація MSF Agile

---

### **Актуальність**

У статті [1] методологія називалася близькою за смыслом, але практичнішою порівняно з підходом. Для пояснення практичності тут використовується друга інтерпретація Каркасного підходу - як узагальненої методології. Пояснюється, як здійснити двохкрокову редукцію від узагальненої до специфічної методології MSF. Як приклад розглядається методологія MSF Agile, яка в оригіналі у 2005 р. називалася MSF for Agile Software Development і позначалася MSF4ASD. Результат першого кроку редукції можливо назвати специфікованою узагальненою методологією MSF Agile. Другий крок редукції дозволяє отримати специфічну методологію MSF Agile. А специфічна методологія може вже безпосередньо використовуватися на практиці.

У даній роботі досліджується клас «Методологій Каркасного підходу до дослідження і проектування ПрІС (просторових інформаційних систем)». Наразі паралельно створюється кілька екземплярів цього класу. Раніше в наших роботах вже згадувався один такий екземпляр - методологія розширення ПрІС. Іншим екземпляром є методологія MSF Agile. Важливим є продемонстроване тут застосування до MSF Agile метамоделі методологій розроблення програмного забезпечення зі стандарту ISO/IEC 24744. Завдяки цьому при-

кладу можемо говорити про властивості усіх екземплярів даного класу методологій. А з ними - і про методологію Базованої на Патернах Просторової Інженерії (БППрІ). Майбутня методологія БППрІ буде частиною Базованої на Моделях Системної Інженерії [4], у якій буде враховуватися Базована на Моделях Програмна Інженерія у викладі [5].

### **Аналіз останніх досліджень та публікацій**

Елементи обох MSF і Agile методологій описувалися у багатьох джеделах. Щоб краще зрозуміти MSF Agile, ми розбиралися з кожною методологією окремо. Методологія MSF 2.0 описана в монографії [6], методологія MSF 4.0 – в монографії [7]. У статті [2] методологія MSF названа мета-методологією або узагальненою. Її специфікація у 2005 році досягнута з використанням поточної версії Visual Studio Team System. Включена до MSF 4.0 MSF for Agile Software Development позначена як MSF4ASD. Без цієї реалізації її можна назвати специфікованою узагальненою методологією. Узагальненою – через приналежність до MSF 4.0. Специфікованою – через те, що сьогодні існує лише їх опис з можливістю кількох реалізацій, а разом з ними – специфікації (як процесу). Реальним прикладом опису технології MSF Agile є [8], де описується версія MSF4ASD

2005 року. Щоб зробити технологію MSF4ASD актуальною сьогодні, потрібна сучасна реалізація.

З методологіями Agile розроблення ПЗ розібратися ще важче, ніж з методологією MSF. Багато авторів дуже вільно поводяться з термінологією і називають Agile методологіями Agile методики і методи. Питання виникають одразу при спробі зрозуміти, що таке «методологія розроблення ПЗ». Для прикладу згадаємо переклад статті «Методології, Методики, Методи, Фреймворки – Що до чого?». Його включено як приклад однієї з точок зору спеціаліста з ІТ у статтю [9]. З нього не витікає ясність розуміння. Адже автор пропонує розуміти перелічені у запитанні терміни залежно від контексту. А контекст може бути кожний раз різним.

З цитованого джерела витікає, що першою проблемою є нестабільність термінології щодо методології Agile, яка у різних авторів різна. Неясність відноситься також до «можливих» складових методології. Натомість, ми називаємо Agile методикою, що обґрунтовується посиланням на класичну монографію [10]. Там “Agile” об’єднувала кілька методів Agile. У 2025 р. предмети цих понять були названі складовими ешелонів сутностей Каркасного підходу до поводження з ПрІС (включаючи їх створення). «Методика» знаходилася «між» процесними сутностями «методологія» і «метод». Відповідно до цієї ієрархії методи можуть «входити» до методики і тільки так – до методології.

Для початкового розуміння явища «Agile» у контексті методологій розроблення ПЗ ми рекомендуємо джерело [11]. Воно не є науковим, однак є актуальним вступом у проблематику Agile, що охоплює більшість прак-

тичних питань. Після нього можливо переходити до серйозніших публікацій. Наприклад, до монографій [10] або [12]; остання перекладена на російську мову. У даній статті безпосередньо використані проста пояснювальна стаття [13], Agile-маніфест [16] і архів з [8].

Ми вже маємо досвід застосування «практик» створення складних ієрархічних ПрІС. Тому можемо досить чітко описати як саму практику (відповідає на питання що?), так і процес (відповідає на питання як?). Де факто вони однозначно існують. А якщо існують і практика і процес, то має існувати і методологія. Вважаємо, що станом на початок 2026 р. її потрібно тільки до визначити і описати. Цього достатньо, щоб аргументовано використовувати термін «підхід» і називати його конструктивним (як і стратегію).

На даний момент наш підхід можемо назвати також «Каркасным підходом розширення (Атласних і ГеоІнформаційних Систем)». Він базується на каркасних методах з двох груп, кожного однорідного стосовно (варіанта) предмета: 1) Концептуальних Каркасів Х, 2) Каркасів Рішень Х[У], де квадратні дужки [У] повідомляють, що У може не існувати. Хоча сам підхід не можна назвати набором однорідних методів, оскільки в першому випадку предметом є Х, а в другому – Х[У]. Загалом, каркасними називаються рішення, отримані застосуванням одного з двох або обох каркасів (причому, довільну кількість разів). Поняття Х пояснювалось кілька разів раніше. Поняття Х[У] розбивається на два поняття зі змінними значеннями. У при його наявності показує залежність від значення (ієрархічної) страти, тому КаРі Х[У] може

називатись так: [Загальний ( $\gamma$ ) | Понятійний ( $\beta$ ) | Аплікаційний ( $\alpha$ ) | Операційний ( $\omega$ )] Каркас Рішень страти  $Y = \gamma, \beta, \alpha, \omega$ , Предмета  $X$ .

Маємо зауважити, що результати даної статті показують неоднозначність майбутньої методології Каркасного підходу до поводження з ПрІС. Потрібно врахувати, як мінімум, три точки зору: двохкрокову редуцію (специфікацію) мета-методології MSF Microsoft, «нашу» методологію розширення і «пряме» застосування Базованої на Моделях Програмної Інженерії (БМПІ), яка описана у монографії [5].

З початку століття ми застосовували екземпляри обох Каркасів (КоКа і КаРі) у багатьох проектах створення або експлуатації предметів  $X$  і/або  $XY$ . Фактично одразу після виявлення перших КаРі розпочалися узагальнення, які можливо об'єднати у два напрямки, однорідні за якимось критерієм: 1) предметним, або 2) процесним.

Щоб не задіювати термін «підхід» до MSF, ми використовуємо термін «мета-методологія». Обидва терміни примініми до MSF, однак другий термін дозволяє утримувати увагу на методології. Нагадаємо, що у статті [1] згадувалися три точки зору (інтерпретації) на Каркасний підхід. Дана стаття присвячена розвитку 2-ї точки на Каркасний підхід, однак ми свідомо звужуємо контекст до мета-методології MSF.

**Метою роботи** є стандартизація методології розроблення ПЗ MSF Agile з допомогою стандарту [3]. Вона повинна доповнити введене раніше поняття «узагальнена методологія поводження з ПрІС» і знадобиться при створенні методології Каркасного підходу до дослідження

і/або проектування ПрІС з точки зору її використання у створюваній нами Базованій на Патернах Просторовій Інженерії (БПІІ).

### **Матеріали і методи наукового дослідження**

У цій роботі використовуються методи Концептуальних Каркасів (КоКа), Каркасів Рішень (КаРі) і Метамоделі методологій розроблення ПЗ із стандарту [3]. Методи називаються системними через їх застосовність до дослідження і/або проектування Просторових інформаційних систем (ПрІС). ПрІС у цій статті розуміються дуже широко. Розрізняються класичні і некласичні ПрІС. Відомими прикладами класичних ПрІС є Електронні Атласи такі як Електронна версія Національного Атласу України (ЕлНАУ). Прикладами некласичних ПрІС є системи Просторової інформаційної діяльності (СПрІД) і Атласні ГеоІнформаційні Системи (АГІС), які вже досліджувались в наших роботах.

Метамоделі корисні для визначення понять, правил та відношень, що використовуються для визначення методологій. Хоча методологію можна описати без явної метамоделі, формалізація основних ідей даної методології є цінною при перевірці її узгодженості або при плануванні розширень чи модифікацій. Хороша метамоделі повинна враховувати процес, якого слід дотримуватися, робочі продукти, які потрібно створити, та тих, хто відповідає за те, щоб усе це відбулося. У свою чергу, визначення робочих продуктів, які необхідно розробити, передбачає визначення основних структурних блоків моделювання, з яких вони будуються.

Метамоделі часто використовуються методологічними інженерами для побудови або модифікації методологій. У свою чергу, методології використовуються розробниками для створення продуктів або надання послуг у контексті певних зусиль.

Метамоделювання, методологія та зусилля (в оригіналі «endeavour», ми перекладаємо цей термін також як «втручання») у стандарті [3] відносяться до трьох різних галузей експертизи, які водночас відповідають трьом різним рівням абстракції та трьом різним наборам фундаментальних понять. Варіантом перекладу «endeavour domain» може бути «домен зусиль» або «домен втручання», якщо скористатися монографією [14] і його «метамоделюванням». Оскільки робота, що виконується розробниками на рівні зусиль, обмежена та спрямовується використовуваною методологією, робота, що виконується методологічним інженером на рівні методології, обмежена та спрямовується обраною метамоделлю. Традиційно ці відношення між «ша-

рами моделювання» (у нас – стратами або ешелонами), які тут називаються «доменами», розглядаються як відношення «екземпляр чогось», у яких елементи в одному шарі (страті/ешелоні) або домені є екземплярами деякого елемента в шарі (страті/ешелоні) або домені нижче.

Сказане ми помістили на загальну схему використання  $\gamma | \beta | \alpha | \omega$  KaPi і отримали Рис. 1. Три домени [3; Figure 1] показані зліва на Рис. 1.

Показаний зліва на Рис. 1 [3; Figure 1] називався Три сфери знань, або домени, які виступають у контексті SEMDM. Стрілки означають «представлено» (The three areas of expertise, or domains, which act as a context for SEMDM. Arrows mean "is represented by"). Сам стандарт пояснює Рис. 2. В оригіналі це був [3; Figure 4], чю назву ми не змінювали.

Щоб показати відповідність конструкцій моделі KaPi з класами метамоделі ISO/IEC 24744 використано схему [15]. На ній ми показали відповідність з пакетами Процеси і Продукти KaPi і отримали Рис. 3,

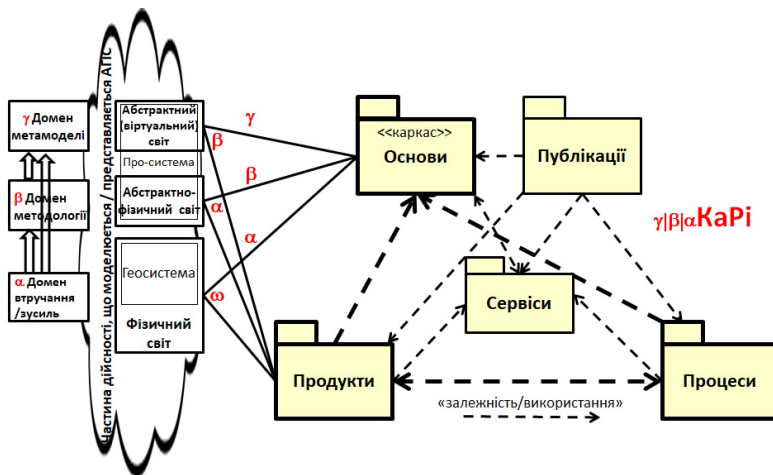


Рис. 1. На схему використання  $\gamma | \beta | \alpha | \omega$  KaPi добавлено [3; Figure 1]

ДО

0, га
04
02
70
04
59

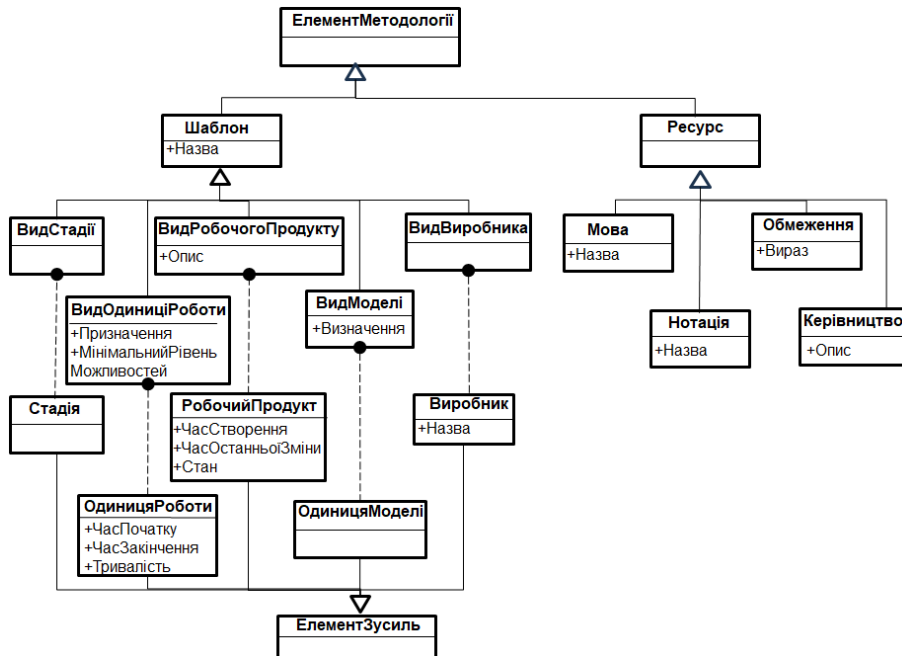


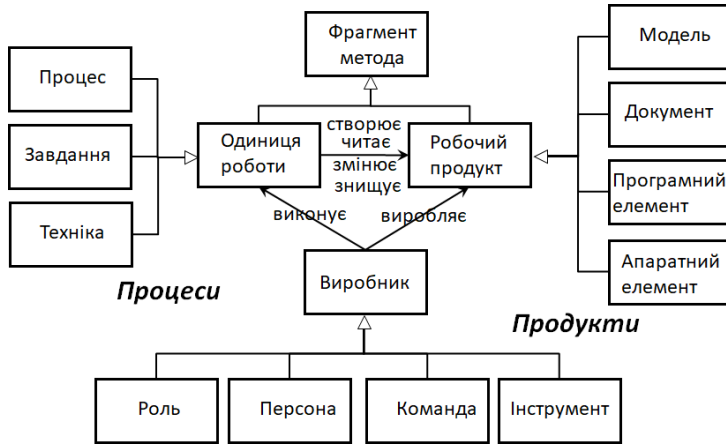
Рис. 2. Абстрактний вигляд SEMDM, що показує основні класи в метамоделі з [3; Figure 4]

не деталізуючи вміст вказаних пакетів. Тут зауважимо, що ми ніколи не забували про користувачів КаРі. Наприклад, опис самого першого КаРі ProSF (Project Solutions Framework) містив призначення пакетів: 1) Пакет Publications призначався для спілкування із зовнішнім середовищем проекту; 2) Пакет Products призначався для розробників продукції проекту; 3) Пакет Processes призначався для менеджменту проекту; 4) Пакет Services призначався для адміністратора, документатора та/або фахівця по навчанню користувачів; 5) Пакет Basics призначався (поелементно) для всіх учасників проекту. Підтримувався архітектором та менеджментом проекту.

Одиниця роботи (Робочий елемент далі) – це завдання, яке потріб-

но виконати, процес, який потрібно здійснити, або техніка (як процес), яку потрібно застосувати в рамках проекту. Робочий продукт – це проміжний або кінцевий результат, створений під час проекту, що може бути документом, моделлю тощо. Виробник відповідає за виконання одиниць роботи і може бути представлений роллю (набір обов'язків виробника), інструментом (засіб, що дозволяє виробникам виконувати свої обов'язки) та командою (організована група виробників, які мають спільну мету).

Якщо знову згадати відповідність з КаРі, то потрібно зауважити, що у кількох останніх статтях ми розглядаємо Каркасний підхід до поводження з ПрІС, у якому суттєвим є вміст так званих «ешелонів» користувачів ПрІС. До ешелонів входять



**Рис. 3. Часткова концептуальна схема [3] [15] і її відповідність пакетам Процеси і Продукти**

так звані «процесні» сутності такі як «методологія», «методика», «метод» тощо. Не вдаючись у подробиці, відмітимо такі основні твердження: 1) ешелони користувачів включають Виробників з Рис. 3; 2) ешелони і їх сутності співвідносяться зі стратами і компонентами тієї чи іншої ПрІС; 3) при конструюванні компонентів страт певної ПрІС використовується відповідний КаРі ( $\gamma$  |  $\beta$  |  $\alpha$  |  $\omega$ ).

#### **Об'єднання Процесу і Продукта (5.4 Uniting Process and Product)**

При використанні моделей КаРі ніколи не варто забувати про їх важливу характерну ознаку – дуалізм процеси-продукти. У цьому контексті у стандарті [3] є окремий підрозділ 5.4, переклад якого ми наводимо далі.

А саме, більшість існуючих підходів до метамодельювання зосереджені або на процесній, або на моделюючій (тобто продуктивній) стороні методологій. Однак більшість цих підходів пропонують точки з'єднання для «підключення» додаткового, ще невизначеного, компонента повноцінної методології. SEMDM

(Software engineering – Metamodel for development methodologies) йде далі, пропонуючи повну метамодель, яка рівномірно охоплює процесні та моделюючі аспекти методологій. Не робити цього було б схоже на спробу визначити дії, які необхідно виконати, не визначивши концепції, на яких ці дії повинні діяти (фокус на процесі), або концепції, які потрібно використовувати, не знаючи, що з ними робити (фокус на моделюванні). Цей підхід має перевагу в тому, що дозволяє глибоко визначити на рівні методології взаємодії між процесом та продуктами, що генеруються ним.

Нарешті, Ресурс (Resource) на Рис. 2 конкретизується (спеціалізується) Мовою (Language) (структура типів одиниць моделі, що зосереджена на певній перспективі моделювання), Нотацією (Notation) (конкретний синтаксис, зазвичай графічний, який може бути використаний для зображення моделей, створених за допомогою певних мов), Керівництвом (Guideline) (указанням, як можна використовувати деякі елементи ме-

тодології) та Обмеженнм (Constraint) (умова, яка виконується або повинна виконуватися в певний момент часу).

Результати дослідження – MSF для гнучкого (Agile) розроблення ПЗ

У розділі враховано монографії [6], [7], архів з [8], стаття [13] і Agile-маніфест [16].

### Що таке MSF Agile?

MSF Agile – це методологія розроблення ПЗ, створена Microsoft, щоб допомогти командам керувати програмними проектами з використанням гнучкого підходу. Вона надає каркас робочих потоків (процесів), ролей та ключових дій (діяльності) для проходження командами різних стадій життєвого циклу розроблення ПЗ. Повна назва обговорюваного у цій статті явища – MSF for Agile Software Development (MSF4ASD), яке разом з явищем MSF for CMMI Process Improvement (MSF4CMMI) були «включені» до MSF версії 4.0 у 2005 р.

Для повнішого представлення про MSF4ASD рекомендуємо ознайомитися з матеріалами посилання [8]. Там у файлі ReadMe.txt радиться перейти у каталог Process Guidance

(Керівництво Процесом) і відкрити ProcessGuidance.html (Рис. 4). Відомі обмеження: 1) Посилання Project Portal (портал проекту) не працює, коли керівництво процесом використовуються в автономному режимі; 2) Завдання «початку роботи» не відобразатимуться в автономній версії; 3) Робочі продукти mpp та xls не заповнюються автоматично, якщо вони не використовуються з Team Foundation Server.

Крім каталога Process Guidance, архів містить каталоги шаблонів (у дужках ()) наведено їх приклади): Project Management (Development Project Plan.mpp, Project Checklist.xls), Requirements (Scenario Description.doc), Security (Template Sample - Web Application Threat Model.doc), Test (Test Approach.doc). Ми не можемо приділити цим шаблонам більше уваги. У подальшому використаємо тільки елементи Рис. 4.

MSF Agile враховує основні ідеї гнучкого розроблення Agile. Вони формулюються з врахуванням цінностей Agile-маніфесту розроблення ПЗ і його принципів: [16]. Де доціль-

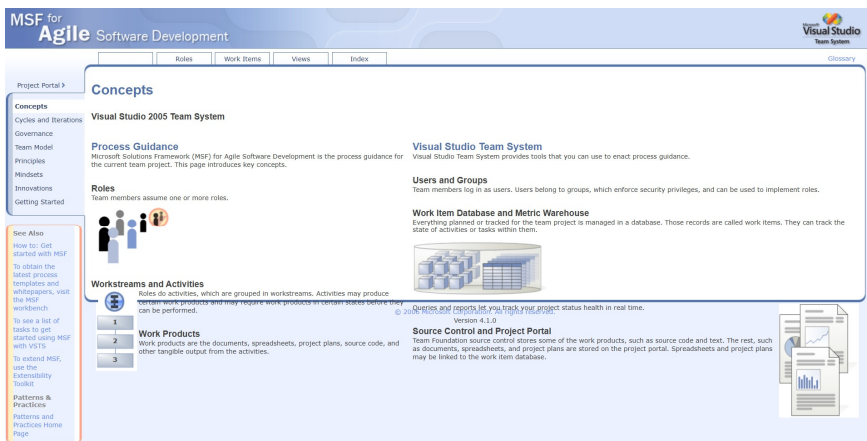


Рис. 4. Сторінка ProcessGuidance.html [8]

но, використовуємо також елементи, доступ до яких показано на Рис. 4.

### **Основні цінності, принципи, мислення і керівництво гнучкого розроблення**

#### **Цінності і Принципи Agile-маніфесту**

Цінностями знаменитого Agile-маніфесту [16] є Особистості та співпраця, Працюючий продукт, Співпраця із замовником, Готовність до змін. Принципів загалом дванадцять, але вони часто трохи змінюються. Так, в [13] формулюються сім принципів: Співпраця з клієнтами, Сприятливе відкрите спілкування, Працювати над досягненням спільного бачення, Якість – це щоденна робота кожного, Залишатися гнучким, адаптуватися до змін; Зробити розгортання звичкою, Потік цінностей. В [8] формулюються дев'ять принципів. Доступ до них показаний на Рис. 4 у лівому меню (див. Principles). Щоб передати суть фактично усіх дванадцяти принципів, наведемо переклад першого абзацу і заголовки принципів MSF for Agile Software Development.

MSF for Agile Software Development – це сценарно-керований, контекстно-базований процес гнучкого розроблення ПЗ для створення .NET та інших об'єктно-орієнтованих аплікацій. Він безпосередньо включає практики обробки вимог до якості обслуговування, таких як продуктивність та безпека. Він також контекстно-базований та використовує контекстно-керований підхід для визначення способу роботи над проектом. Цей підхід допомагає створити адаптивний процес, який долає граничні умови більшості гнучких процесів розроблення ПЗ, одночасно досягаючи цілей, визначених у баченні проекту.

Заголовки принципів MSF for Agile Software Development: 1) Співпрацюйте з клієнтами (Partner with Customers), 2) Працюйте над досягненням спільного бачення (Work Toward a Shared Vision), 3) Забезпечуйте додаткову цінність (Deliver Incremental Value), 4) Інвестуйте в якість (Invest in Quality), 5) Розширюйте можливості членів команди (Empower Team Members), 6) Встановлюйте чітку відповідальність (Establish Clear Accountability), 7) Вчіться на досвіді (Learn from all experiences), 8) Сприяйте відкритій комунікації (Foster open communications), 9) Залишайтеся гнучкими, адаптуйтеся до змін (Stay agile, adapt to change).

#### **Мислення (Mindsets) і Керівництво (Governance)**

Мислення: Якість визначається клієнтом, Гордість за свою роботу, Команда колег, Часте постачання, Готовність навчатися, Раннє уточнення деталей, Якість обслуговування, Громадянська позиція.

Керівництво: Стосується контролю часу та грошей відносно потоку цінності: Чи робимо ми правильно? Чи можемо ми зробити це в рамках часу та бюджету? Чи готові ми до інтеграції? Чи готові ми до розгортання? Чи усвідомлюємо ми цінність?

Крім цінностей, принципів, образу мислення і керівництва MSF Agile визначається тріадою процеси, продукти, виконавці. Далі наведено їх концептивний виклад.

#### **Процеси**

Модель процесу MSF добре описана в монографії [6]. Один із варіантів для версії 2.0 наведено на Рис. 5. Фази склалися зі стадій. Моделі наступних версій MSF були варіаціями версії 2.0. Далі наводяться докази для MSF Agile.

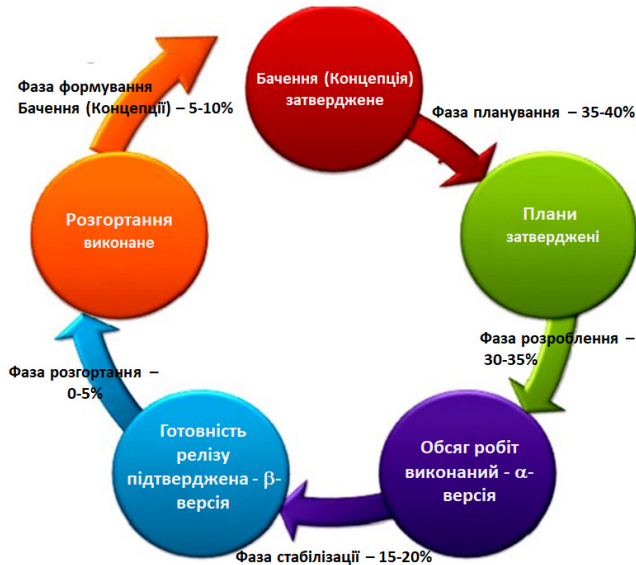


Рис. 5. Модель процесу MSF 2.0

В MSF 4.0 (MSF Agile) модель процесу описується через «робочі потоки». А саме, за [8] ролі виконують дії, які згруповані в робочі потоки. Дії можуть створювати певні робочі продукти та можуть вимагати, щоб робочі продукти були в певних станах, перш ніж їх можна буде виконати. З подальшого опису робочих потоків зрозуміло, що для MSF 4.0 (MSF Agile) справедлива модель процесу MSF 2.0, показана на Рис. 5.

#### Робочі потоки (Workstreams)

Зафіксувати бачення проекту, Створити вимогу до якості обслуговування, Створити сценарій, Керувати проектом, Планувати ітерацію, Керувати ітерацією, Створити архітектуру рішення, Створити продукт, виправити помилку, Реалізувати завдання розроблення, Закрити помилку, Тестувати вимогу до якості обслуговування, Тестувати сценарій, Випустити продукт.

#### Дії по робочих потоках (Activities By Workstream)

Зафіксувати бачення проекту: Написати бачення, Визначити персонажів, Уточнити персонажі.

Створення вимог до якості обслуговування: Мозковий штурм щодо вимог до якості обслуговування, Розробка огляду способу життя (lifestyle), Визначення пріоритетів у списку вимог до якості обслуговування, Написання вимог до якості обслуговування, Визначення цілей безпеки.

Створення сценарію: мозковий штурм сценаріїв, розробка огляду способу життя, визначення пріоритетів списку сценаріїв, написання опису сценарію, створення розкадровки сценарію.

Управління проектом: Огляд цілей, Оцінка прогресу, Оцінка порогових значень тестових показників, Сортування помилок, Виявлення ризиків.

Планування ітерації: Визначення тривалості ітерації, Оцінка сценарію, Оцінка вимог до якості обслуговування, Планування сценарію, Планування вимог до якості обслуговування, Планування розподілу виправлень помилок, Розподіл сценаріїв на завдання, Розподіл вимог до якості обслуговування на завдання.

Управління ітерацією: Моніторинг ітерації, Зменшення ризиків, Проведення ретроспектив.

Створення архітектури рішення: Розбиття системи, Визначення інтерфейсів, Розроблення моделі загроз, Розроблення моделі продуктивності, Створення архітектурного прототипу, Створення архітектури інфраструктури.

Збірка продукту: Розпочати збірку, Перевірити збірку, Виправити збірку, Прийняти збірку.

Виправлення помилки: Відтворення помилки, Визначення причини помилки, Перепризначення помилки, Вибір стратегії виправлення помилки, Написання коду для виправлення помилки, Створення або оновлення модульного тесту, Виконання модульного тесту, Рефакторинг коду, Перегляд коду.

Реалізація завдання розроблення: Визначення вартості завдання розроблення, Створення або оновлення модульного тесту, Написання коду для завдання розроблення, Виконання аналізу коду, Виконання модульного тесту, Рефакторинг коду, Перевірка коду, Інтеграція змін коду.

Закрити помилку: Перевірити виправлення, Закрити помилку.

Тестування вимоги до якості обслуговування: Визначення підходу до тестування, Написання тестів

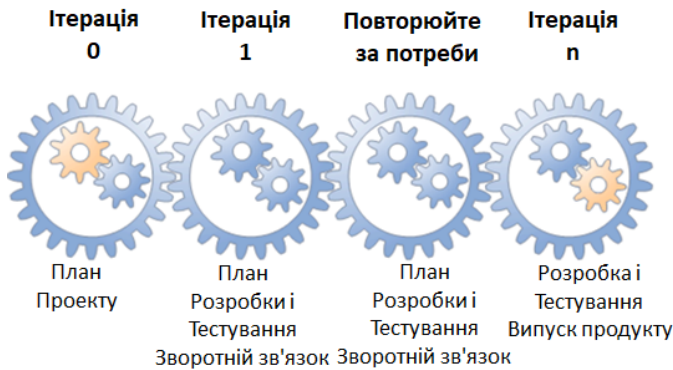


Рис. 6. Цикли та ітерації [8]

продуктивності, Написання тестів безпеки, Написання стрес-тестів, Написання навантажувальних тестів, Вибір та запуск тестового випадку, Відкриття помилки, Проведення дослідного тестування.

Тестування сценарію: Визначення підходу до тестування, Написання валідаційних тестів, Вибір та запуск тестового випадку, Відкриття помилки, Проведення дослідницького тестування.

Випуск продукту: Виконання плану випуску, Перевірка випуску, Створення нотаток до випуску, Розгортання продукту.

Дисципліни, пов'язані з Моделлю процесу MSF (Рис. 5): Вимоги, Планування, Архітектура, Розроблення, Тестування.

### Цикли та ітерації / Cycles and Iterations

Плавна інтеграція MSF для Agile у Visual Studio Team System підтримує швидке ітеративне розроблення з безперервним навчанням та вдосконаленням.

- Визначення, розроблення та тестування продукту виконуються ітераціями з перекриттям і це призводить до поступового завершення проекту.

- Різні ітерації мають різний фокус при наблизенні проекту до завершення.

- Невеликі ітерації дозволяють зменшити допустиму похибку в оцінках і забезпечити швидкий зворотній зв'язок щодо точності планів проекту.

- Кожна ітерація повинна призвести до стабільної частини всієї системи.

Ітерація 0: Початок проекту, Планування

Ітерація 1: Планування, Розроблення та тестування, Зворотній зв'язок

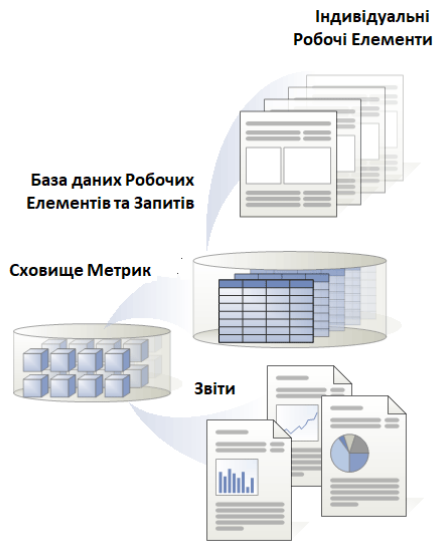


Рис. 7. Елемент Роботи [8]

Повторюйте за потреби: Планування, Розроблення та тестування, Зворотній зв'язок

Ітерація n: Розроблення та тестування, Випуск продукта.

### Продукти

Розрізняються Робочі Елементи (Work Items) і Робочі Продукти (Work Products). Перші відносяться до Процесів, другі – до Продуктів. Ми називаємо цей факт «дуалізмом», завдяки чому відмінності між Процесами і Продуктами стають зрозумілишими. Дуалізм справедливий у кожному контексті. Далі розглядаються кілька прикладів.

### Робочий Елемент

Робочий Елемент співвідноситься з записом у базі даних, який Visual Studio Team Foundation використовує для відстеження призначення та стану роботи. Процес MSF для гнучкого розроблення ПЗ визначає п'ять Робочих Елементів для призначення та відстеження роботи. Загальна база даних Робочих Елементів та Схови-

Модель команди MSF



Рис. 8 – MSF модель команди: а) версія 2.0 [6], б) [8], в) версія 4.0 [7]

ще Метрик дозволяють відповідати на запитання щодо стану проекту в режимі реального часу.

**Артефакти (Робочі Продукти)**

Формулювання бачення, Архітектура системи, План тестування, Персона, Сценарії, Розкадровки, Завдання розроблення, Моделі інтерфейсів, Архітектурні прототипи, Модульні тести, Класи, Набори змін, Зареєстровані нотатки, Тестові сценарії, Звіти про помилки.

Робочі Продукти (Work Products) за [8]. Робочі Продукти – це документи, електронні таблиці, плани проєктів, вихідний код та інші відчутні результати дій (діяльності).

**Виконавці**

Еволюція Моделі команди MSF показана на Рис. 8.

Групи підтримки: Архітектура, Розроблення, Управління продуктами, Управління програмами, Управ-

ління релізами, Тестування, Навчання користувача.

Хто що відстоює (advocacy): Архітектура – відстоює Систему в цілому, Розроблення – відстоює Технічне Рішення, Управління Продуктом – відстоює Бізнес Клієнта, Управління Програмою – відстоює Надання Рішень, Управління Релізами – відстоює Безперебійне Надання та Розгортання Рішення у Відповідній Інфраструктурі, Тестування – відстоює Якість Рішення з точки зору Клієнта, Навчання Користувача – відстоює Найефективніше Рішення в очах Цільових Користувачів.

**Командні принципи**

Команда колег з чіткою підзвітністю, спільною відповідальністю та відкритою комунікацією. Кожна роль відповідає за певну частку якості загального рішення.

Захист усіх ключових зацікавле-

них сторін, які потрібно представити в успішному проекті розроблення ПЗ. Кожна точка зору представлена для забезпечення механізмів контролю та протипаг, що запобігають помилкам, упушенням та однобоким рішенням.

Розтягнути, щоб відповідати масштабу, необхідному для конкретного проекту. Складові можуть бути об'єднані в невеликі команди або додатково покращені, якщо команди масштабуються для більших проектів.

#### **Хто що робить**

**Бізнес-аналітик:** Фіксує бачення проекту, Створює вимоги до якості обслуговування, Створює сценарії.

**Менеджер проекту:** Керує проектом, Планує ітерації, Керує ітераціями.

**Архітектор:** Створює архітектуру рішення.

**Розробник:** Створює продукт, Виправляє помилки, Реалізує завдання розроблення.

**Тестер:** Закриває помилку, Тестує вимогу якості обслуговування, Тестує сценарії.

**Менеджер випусків:** Випускає продукт.

### **Висновки**

У статті досить детально розглянута методологія розроблення ПЗ MSF Agile. З одного боку, показані співвідношення її конструкцій з метамоделлю зі стандарта [3]. З другого боку, показана їх відповідність з конструкціями відповідних KaPi.

Поєднання обох методологій – MSF і Agile – не є необхідним. Однак їх знання і розуміння зменшить кількість помилок в проектах розроблення ПЗ, а також дозволить вибирати практично економічніший і ефективніший шлях їх виконання.

Автори вважають, що викладеного матеріалу достатньо, щоб зацікавлена компанія змогла б створити власну методологію, що базується на MSF Agile. При цьому використання Visual Studio Team System не є обов'язковим.

Важливою відмінністю статті є суміщений опис елементів методології і технології розроблення ПЗ. Цим вона суттєво відрізняється від багатьох джерел, в яких викладаються тільки окремі факти про методології (технології) розроблення ПЗ. Як правило, мало уваги звертається на ієрархію цих фактів, хоча вона є важливою. Очевидним прикладом є плутанина навіть у розумінні термінів методологія і технологія.

---

#### **Список використаної літератури**

1. Дишлик О., Чабанюк В. Каркасный підхід як стратегія дослідження проектування складних просторових інформаційних систем (на прикладі НІГД). *Землеустрій, кадастр і моніторинг земель*. 2025. № 1. С. 104–130. DOI: <https://doi.org/10.31548/zemleustriy2025.01.09>.
2. Чабанюк В., Дишлик О. Каркас рішень Microsoft (KaPi M) як узагальнена методологія каркасного підходу поводження з просторовими інформаційними системами. *Землеустрій, кадастр і моніторинг земель*. 2025. № 2. С. 88–105. DOI: <https://doi.org/10.31548/zemleustriy2025.02.08>.
3. Software engineering — metamodel for development methodologies : ISO/IEC 24744. 2nd ed. Geneva, 2014. 110 p.
4. Holt J. Systems Engineering Demystified: apply modern, model-based systems engineering techniques to build complex systems. 2nd ed. Birmingham : Packt Publishing, 2023. 504 p.
5. Brambilla M., Cabot J., Wimmer M. Model-

- driven software engineering in practice. 2nd ed. Morgan & Claypool Publishers, 2017. 209 p. DOI: <https://doi.org/10.2200/S00441ED1V01Y201208SWE001>.
6. Wilson S. F., Maples B., Landgrave T. Analyzing requirements and defining solutions architecture. Redmond : Microsoft Press, 1999. 700 p.
  7. Turner M. S. V. Microsoft Solutions Framework Essentials: building successful technology solutions. Redmond : Microsoft Press, 2006. 336 p.
  8. MSF for Agile Software Development Process Guidance. Version 4.1.61114. 2024. URL: <https://www.microsoft.com/en-us/download/details.aspx?id=5365> (дата звернення: 24.04.2026).
  9. Дишлик О., Чабанюк В. Про методику каркасного підходу до створення просторових інформаційних систем з використанням сучасних технологій Microsoft. *Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва* : зб. наук. пр. Західного геодезичного товариства УТГК. Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2026. Вип. 1 (51).
  10. Pressman R. S., Maxim B. R. Software engineering: a practitioner's approach. 9th ed. New York : McGraw-Hill, 2019. 671 p.
  11. Abrams S. Agile software development for beginners: mastering flexibility and efficiency in modern software projects. 2024. 114 p.
  12. McConnell S. More effective agile: a roadmap for software leaders. Construx Press, 2019. 379 p. ISBN 978-1733518215.
  13. Meier J. D. MSF Agile at a glance. 2005. URL: <https://jdmeier.com/msf-agile-at-a-glance/> (дата звернення: 24.04.2026).
  14. van Gigch J. P. System design: modeling and metamodeling. New York : Springer, 1991. 453 p.
  15. Tekinerdogan B. Situational method engineering for constructing Internet of Things development methods. In: Business Modeling and Software Design. Cham : Springer, 2018. P. 221–239. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-319-94214-8\\_14](https://doi.org/10.1007/978-3-319-94214-8_14).
  16. Software development technologies : lecture course [Electronic resource] / V. O. Tykhokhod, A. L. Gurin, O. M. Bespala (comp.). Kyiv : Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, 2024. 230 p. URL: <https://agilemanifesto.org/iso/uk/manifesto.html> (дата звернення: 24.04.2026).
- 

## References

1. Dyshlyk, O., & Chabaniuk, V. (2025). Karkasnyi pidkhid yak stratehiia doslidzhennia proektuvannia skladnykh prostorovykh informatsiinykh system (na prykladi NIHD) [Framework approach as a strategy for designing complex spatial information systems (case of NSDI)]. *Zemleustrii, kadastr i monitorynh zemel*, 1, 104–130. DOI: <https://doi.org/10.31548/zemleustriy2025.01.09>
2. Chabaniuk, V., & Dyshlyk, O. (2025). Karkas rishen Microsoft (KaRi M) yak uzahalnena metodolohiia karkasnoho pidkhodu povodzhennia z prostorovymy informatsiiny my systemamy [Microsoft Solutions Framework as a generalized methodology of the framework approach to spatial information systems]. *Zemleustrii, kadastr i monitorynh zemel*, 2, 88–105. DOI: <https://doi.org/10.31548/zemleustriy2025.02.08>
3. International Organization for Standardization. (2014). ISO/IEC 24744: Software engineering — Metamodel for development methodologies (2nd ed.).
4. Holt, J. (2023). Systems engineering demystified: Apply modern, model-based systems engineering techniques to build complex systems (2nd ed.). Packt Publishing.
5. Brambilla, M., Cabot, J., & Wimmer, M. (2017). Model-driven software engineering in practice (2nd ed.). Morgan & Claypool Publishers. DOI: <https://doi.org/10.2200/S00441ED1V01Y-201208SWE001>

6. Wilson, S. F., Maples, B., & Landgrave, T. (1999). Analyzing requirements and defining solutions architecture. Microsoft Press.
7. Turner, M. S. V. (2006). Microsoft solutions framework essentials: Building successful technology solutions. Microsoft Press.
8. Microsoft. (2024). MSF for agile software development process guidance (Version 4.1.61114). Available at: <https://www.microsoft.com/en-us/download/details.aspx?id=5365>
9. Dyshlyk, O., & Chabaniuk, V. (2026). Pro metodyku karkasnoho pidkholdu do stvorennia prostorovykh informatsiinykh system z vykorystanniam suchasnykh tekhnolohii Microsoft [On the methodology of the framework approach to spatial information systems using modern Microsoft technologies]. In Suchasni dosiahnennia heodezychnoi nauky ta vyrobnytstva, 51. Lviv: Vydavnytstvo Lvivskoi politekhniki.
10. Pressman, R. S., & Maxim, B. R. (2019). Software engineering: A practitioner's approach (9th ed.). McGraw-Hill.
11. Abrams, S. (2024). Agile software development for beginners: Mastering flexibility and efficiency in modern software projects. SamIzdat.
12. McConnell, S. (2019). More effective agile: A roadmap for software leaders. Construx Press.
13. Meier, J. D. (2005). MSF agile at a glance. Available at: <https://jdmeier.com/msf-agile-at-a-glance/>
14. van Gigch, J. P. (1991). System design modeling and metamodeling. Springer.
15. Tekinerdogan, B. (2018). Situational method engineering for constructing Internet of Things development methods. In B. Shishkov (Ed.), Business modeling and software design (pp. 221–239). Springer. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-319-94214-8\\_14](https://doi.org/10.1007/978-3-319-94214-8_14)
16. Tykhokhod, V. O., Hurin, A. L., & Bespala, O. M. (Comp.). (2024). Software development technologies: Lecture course [Electronic resource]. Kyiv: Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute. Available at: <https://agilemanifesto.org/iso/uk/manifesto.html>.

---

**Chabaniuk V., Dyshlyk O.**

**STANDARDIZATION OF MSF AGILE METHODOLOGY WITH THE USE OF ISO/IEC 24744**

LAND MANAGEMENT, CADASTRE AND LAND MONITORING 2'26: 15-31.

<http://dx.doi.org/10.31548/zemleustriy2025.02.02>

**Abstract.** *The paper proposes the standardization of the software development methodology MSF Agile. It made by using the metamodel of software development methodologies from the ISO/IEC 24744 standard. Original of MSF Agile named MSF for Agile Software Development and denoted MSF4ASD. MSF4ASD implemented in MSF version 4.0 in 2005 p. in the tool/technology Visual Studio Team System. Therefore, here it is called an example of a specific software development methodology. Without implementation, the methodology exists, but it is better to call a specified generalized MSF methodology with the threat of losing practicality.*

*Given the topicality of the Agile methodologies, MSF Agile can be a practically useful implementation of the generalized MSF methodology. The specific MSF Agile methodology can be obtained in two ways: 1) two-step specification or 2) standardization with subsequent specification. This article chooses the second way - first, MSF Agile standardized using the development methodology metamodel from the ISO/IEC 24744 standard. After that, it is easier to perform practically*

*useful specification, since the task becomes typical. Implementation will be possible using various information technologies (IT), including Microsoft IT. The specific methodology can already be directly used in practice.*

*In the three main sections of this paper: 1) a standardization tool is introduced – the necessary elements of the software development methodologies metamodel from the ISO/IEC 24744 standard are described; 2) information about MSF4ASD is reminded, here simplified to MSF Agile; 3) MSF Agile is presented using the elements of the ISO/IEC 24744 metamodel. This shows how to make MSF Agile a standardized methodology. Then, by one-step reduction, it is possible to obtain a specific methodology that can constructively satisfy the Framework approach and facilitate the transition to Pattern-Based Spatial Engineering.*

**Keywords:** *Microsoft Solutions Framework (MSF) Agile methodology, ISO/IEC 24744 MSF Agile standardization*

---

---

## СТАН СЕРВІСНО-ОРІЄНТОВАНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ГЕОВІЗУАЛІЗАЦІЇ ГЕОПРОСТОРОВИХ ДАНИХ В УКРАЇНІ ТА ТЕНДЕНЦІЇ ЇХ РОЗВИТКУ

---

**Р.О. ЗІНЕНКО,**

*аспірант кафедри геоінформатики і фотограмметрії*

*E-mail: zinenko@gki.com.ua*

*ORCID: 0000-0002-3337-7168*

*Київський національний університет будівництва та архітектури*

**Анотація.** У статті досліджено сучасний стан технологій геовізуалізації геопросторових даних та визначено основні тенденції їх розвитку в умовах цифровізації. Досліджено архітектуру та функціональні можливості національного геопорталу, а також мережі геопорталів органів місцевого самоврядування та державних адміністрацій. Наукова новизна роботи полягає у системному аналізі впровадження сервіс-орієнтованої архітектури (SOA) та стандартів Open Geospatial Consortium (WMS, WMTS, WFS, CSW) у вітчизняну практику цифрового врядування. Виявлено перехід від статичного картографування до динамічних веб-орієнтованих ГІС-платформ. Результати дослідження, що ґрунтуються на аналізі реальних кейсів міських громад, демонструють високий рівень інтеграції сервісів візуалізації (WMTS, WMS) при дефіциті сервісів прямого доступу до об'єктів (WFS, VectorTile). Сформовані висновки сприяють оптимізації процесів просторового планування, моніторингу територій та прийняття обґрунтованих управлінських рішень у контексті цифровізації держави. Результати дослідження можуть бути використані для вдосконалення геопорталів і розвитку інфраструктури геопросторових даних.

**Ключові слова:** геоінформаційний сервіс; картографія; геопортал; геоінформаційна система; НІГД; геопросторові дані; база геопросторових даних; інтеграція; сервіс.

---

### **Постановка проблеми**

Сучасний етап розвитку геоінформаційних технологій характеризується стрімкою трансформацією підходів до опрацювання, інтеграції та візуалізації геопросторових даних

з метою оперативного задоволення потреб користувачів в актуальній та якісній географічній інформації. Геовізуалізація виступає одним із основних інструментів підтримки прийняття управлінських рішень, просторового планування, моніто-

рингу територій та забезпечення відкритості даних. У контексті цифровізації державного управління та впровадження принципів відкритих даних виник попит на створення і використання геопорталів, які містять відповідні геоінформаційні сервіси.

В Україні для забезпечення інтероперабельності геопросторових даних різних їх виробників та держателів було сформовано нову сферу – національну інфраструктуру геопросторових даних (НІГД), одним із основних компонентів якої є національний геопортал [1-4]. Його функціонування забезпечує уніфікований доступ до базових і тематичних геопросторових даних, метаданих та геоінформаційних сервісів, що інтегруються в єдину мережу геопорталів різного рівня. Важливою особливістю цієї системи є децентралізована архітектура, яка дозволяє поєднувати різні джерела даних і геоінформаційні системи (зокрема на базі ArcGIS, QGIS тощо) в єдине інформаційне середовище.

Актуальність дослідження також зумовлена тим, що в Україні вже сформовано нормативно-технічну базу для розвитку геопорталів, зокрема розроблено технічне завдання на створення національного геопорталу НІГД і затверджено технічні вимоги до геоінформаційних сервісів, яке визначає вимоги до функціональності, інтероперабельності, структури метаданих та геоінформаційних сервісів. Це технічне завдання стало орієнтиром для розроблення аналогічних рішень на регіональному та місцевому рівнях.

На сьогодні вже реалізовано національний геопортал (у тому числі у форматі прототипу та дослідної експлуатації), який забезпечує пошук, перегляд і доступ до геопросторових

даних через стандартизовані сервіси (WMS, WFS, CSW тощо). Паралельно формується мережа взаємопов'язаних геопорталів, що включає [1]:

- геопортали центральних органів виконавчої влади (галузеві);
- геопортали обласних державних адміністрацій (ОДА);
- геопортали органів місцевого самоврядування (ОМС);
- геопортали підприємств та окремих територій.

Така багаторівнева система забезпечує інтеграцію геопросторових даних на національному, регіональному та місцевому рівнях і створює передумови для формування єдиного геоінформаційного простору держави.

Особливу роль у цьому процесі відіграють геопортали ОМС і ОДА, які виступають безпосередніми виробниками та держателями значної частини тематичних геопросторових даних, наприклад, містобудівної та земельпорядної, науково-проектної документації. Відповідно до чинного законодавства у сфері НІГД, вони зобов'язані забезпечувати створення, оновлення, стандартизацію та публікацію даних, а також їх інтеграцію з національним геопорталом через геоінформаційні сервіси. При цьому розроблення власних геопорталів територіальних громад здійснюється на основі типових підходів і технічних вимог НІГД, що сприяє уніфікації рішень і зменшенню витрат на створення локальної інфраструктури.

Незважаючи на досягнуті результати, актуальними залишаються проблеми інтероперабельності даних, забезпечення їх актуальності, уникнення дублювання, а також переходу від статичних картографічних продуктів до інтерактивних геоінформаційних сервісів і аналітичних

платформ. Це зумовлює необхідність подальших досліджень у сфері технологій геовізуалізації, зокрема щодо інтеграції великих обсягів геопросторових даних, використання веб-орієнтованих ГІС, хмарних технологій та сервіс-орієнтованих архітектур.

Таким чином, дослідження стану технологій геовізуалізації геопросторових даних та тенденцій їх розвитку, з урахуванням практичної реалізації НІГД, національного геопорталу та мережі геопорталів ОМС і ОДА, є актуальним та має практичне значення.

**Метою цієї роботи** є аналіз поточного стану технологій геовізуалізації геопросторових даних та формування напрямів та тенденцій їх розвитку з урахуванням функціонування національної інфраструктури геопросторових даних.

### **Матеріали і методи наукового дослідження**

Основним методом дослідження виступає системний аналіз, який застосовано для дослідження архітектури сучасних геоінформаційних систем та сервісів геовізуалізації. Зокрема, проаналізовано підходи, закладені в стандартах Open Geospatial Consortium, зокрема в специфікації OpenGIS Service Architecture, що визначає концептуальні засади побудови інтероперабельних геосервісів у відкритому інформаційному середовищі. Це дозволило розглянути геовізуалізацію як складову сервіс-орієнтованої архітектури (SOA), де ключовими є сервіси доступу, оброблення та відображення геоданих.

Метод порівняльного аналізу використано для зіставлення міжнародних і національних підходів до реалізації геовізуалізації. У межах цього

методу досліджено реалізацію OGC Web Services (OWS), зокрема:

- сервісів візуалізації (WMS, WMTS);
- сервісів доступу до даних (WFS);
- сервісів каталогізації (CSW).

Порівняння здійснювалося з урахуванням їх впровадження у рамках Національної інфраструктури геопросторових даних, включаючи функціонування національного геопорталу та місцевих геопорталів. Це дало змогу оцінити рівень відповідності українських рішень міжнародним стандартам інтероперабельності.

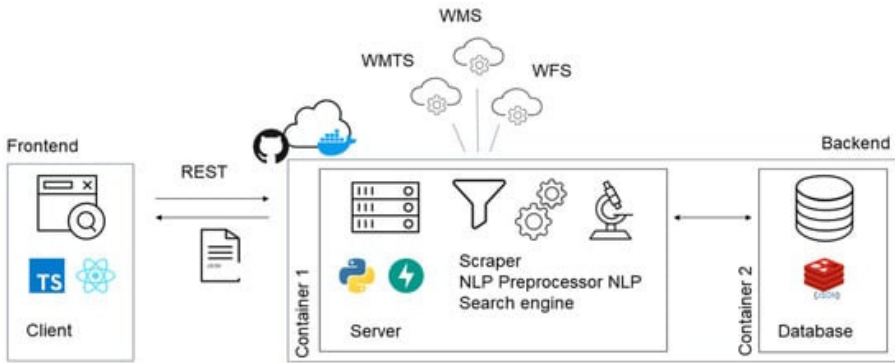
Для оцінки сучасного стану в Україні застосовано кейс-метод, у межах якого проаналізовано:

- функціонування національного геопорталу НІГД;
- реалізацію геопорталів обласних державних адміністрацій (ОДА);
- впровадження геопорталів органів місцевого самоврядування (ОМС).

Це дозволило виявити практичні аспекти використання геосервісів, рівень інтеграції даних, а також проблеми інтероперабельності та стандартизації.

Таким чином, застосований комплекс методів дозволив всебічно дослідити як теоретичні засади геовізуалізації (на основі стандартів Open Geospatial Consortium), так і практичну реалізацію цих підходів в Україні у рамках розвитку національної інфраструктури геопросторових даних, що забезпечує обґрунтованість отриманих висновків щодо сучасного стану та перспектив розвитку цього наукового напрямку дослідження.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз сучасних наукових



**Рис.1. Приклад архітектури системи з використанням REST API**

Джерело. [10, с. 6].

досліджень дає можливість стверджувати, що розвиток геосервісів і технологій геовізуалізації відбувається у напрямі до розподілених сервіс-орієнтованих хмарних середовищ, що забезпечують інтеграцію різномірних геоінформаційних ресурсів.

У зв'язку з цим, інтероперабельність розглядається як базова вимога до геосервісів та геопросторових даних.

Дослідження [4-6] підтверджують, що стандартизація на основі стандартів ISO, Open Geospatial Consortium (WMS, WFS, CSW) є фундаментом для створення уніфікованих геоінформаційних середовищ, оскільки є необхідність інтеграції великої кількості різномірних джерел даних та забезпечення їх повторного використання в різних прикладних задачах.

У роботах [7-9] демонструється домінування веб-орієнтованих ГІС на основі сервіс-орієнтованих архітектур (SOA, REST API), що пояснюється потребою у віддаленому доступі до геоданих; масштабованістю і гнучкістю веб-технологій; можливістю інтеграції з іншими інформацій-

ними системами.

У роботах [10, 11] наголошено на активному розвитку інфраструктур геопросторових даних (ГД) та геопорталів як точок доступу до сервісів і метаданих (рис. 1). У результаті геовізуалізація трансформується з інструменту відображення даних у повноцінну платформу аналітики та підтримки прийняття рішень.

Окремим напрям дослідження є розвиток мультимасштабного подання баз геопросторових даних (Multi-Representation Databases, MRDB) [12-16], що демонструє тенденцію переходу від зберігання даних у фіксованому масштабі до динамічної генералізації та підтримки кількох рівнів деталізації. Це у свою чергу, потребує застосування методів автоматизації генералізації геопросторових даних, включаючи використання технологію штучного інтелекту [17].

Сучасні геосервіси розвиваються як відкриті, розподілені, масштабовані та інтелектуалізовані системи, що базуються на стандартах Open Geospatial Consortium і забезпечують інтеграцію різномірних геопросторових даних у єдиному інформацій-

ному середовищі. Цей розвиток обумовлено:

- зростанням обсягів даних;
- потребою в їх інтеграції та повторному використанні;
- розвиток веб- та хмарних технологій;
- автоматизація опрацювання і візуалізації;
- цифровізація управління територіями.

### Виклад основного матеріалу дослідження

Переважає більшість геопорталів ОМС та ОДА, а також національний геопортал розроблений з урахуванням концепції «Публікація-Пошук-Виклик» (publish/find/bind), характерній для сервіс-орієнтованих систем (рис. 2). Цей підхід передбачає взаємодію трьох основних компонентів:

- постачальників геосервісів;
- користувачів;
- каталогів (реєстрів) геоданих і сервісів.

Під час розробки національного геопорталу Національної інфраструктури геопросторових даних через механізми е-ідентифікації та

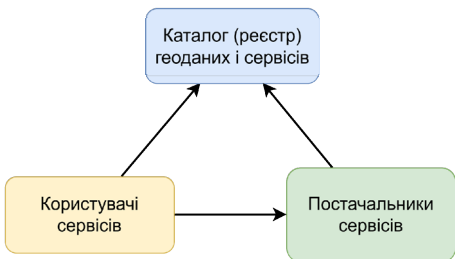


Рис. 2. Принципова схема підходу «Публікація-Пошук-Виклик» («Publish-Find-Bind») сервісно-орієнтованої архітектури (SOA)

Джерело. Адаптовано автором на основі даних [1, с. 251].

автентифікації користувачів було забезпечено режим доступу до геопросторових даних та метаданих за допомогою таких засобів:

- сервіс пошуку геопросторових даних, метаданих та геоінформаційних сервісів через веб-клієнт та інтерфейс програмування каталогу метаданих CSW;
- сервіс перегляду метаданих через веб-клієнт та інтерфейс програмування каталогу метаданих CSW;
- сервіси перегляду геопросторових даних у вигляді електронних карт через веб-клієнт та інтерфейс програмування геоінформаційного сервісу картографічних тайлів WMTS та/або картографічного веб-сервісу WMS.

На національному геопорталі реалізовано механізми завантаження векторних даних, які надають користувачам через функції е-ідентифікації та автентифікації в електронному кабінеті можливість отримання певних наборів геопросторових даних, разом з оновленням, у форматах завантаження даних з використанням таких засобів:

- веб-сервісу завантаження геопросторових об'єктів WFS, що забезпечує отримання векторних моделей геопросторових об'єктів в уніфікованих форматах (GML, GeoJSON, GPKG, KML тощо);
- веб-сервісу географічних назв WGS (WFS-G) для отримання векторних моделей даних із реєстрів географічних назв, вулиць та адрес чи геопросторових баз даних;
- веб-сервісу покриттів WCS для отримання цифрових моделей рельєфу, растрових моделей даних дистанційного зондування Землі та інший просторовий розподіл, що описують неперервне просторове поширення певної характеристики;

– веб-сервіс опрацювання WPS для забезпечення аналітичних функцій з використанням програм засобів для перетворення, аналізу та моделювання даних, розміщених на геопорталі.

В ході апробації перевірено два режими доступу до геопросторових даних та метаданих у системі національного геопорталу НІГД:

1) Інтерактивний, який забезпечує користувачу використовувати веб-клієнти геосервісів порталу. Такий доступ дозволяє самостійно формувати запити, переглядати результати, а також зберігати й документувати їх безпосередньо на комп'ютері користувача.

2) Автоматизований (електронна взаємодія), що передбачає прямий зв'язок між геоінформаційними системами користувача та сервісами геопорталів. Обмін даними реалізовано через уніфіковані URL-адреси та програмні інтерфейси (API), які базуються на стандартах Відкритого геопросторового консорціуму OGC.

На геопорталах місцевого рівня

оприлюднюють геопросторові дані, власниками та держателями яких є органи місцевого самоврядування. Ці дані публікують через геоінформаційні сервіси, що відповідають єдиним вимогам до функцій, базових операцій та інтерфейсів програмування (API) за специфікаціями Відкритого геопросторового консорціуму OGC.

У дослідженні було проаналізовано 6 геопорталів міських територіальних громад з метою визначення кількості наборів даних, які оприлюдненні сервісами WMTS, REST API (GeoJSON), VectorTile (табл. 1). Вибірка сформована за критеріями публічної доступності через відкриті пошукові системи, наявності відповідних метаданих та технічної можливості підключення до інтерфейсів API.

Наприклад, набір даних «Будівлі та споруди» Житомирської міської ради публікуються у вигляді сервісів VectorTile, WMTS (рис. 3). Також для обміну даними за допомогою сервісу REST API було реалізовано середо-

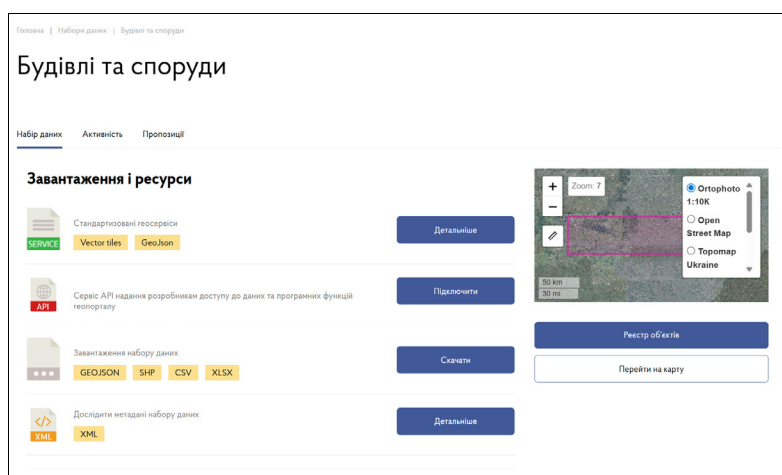


Рис. 3. Фрагмент веб-інтерфейсу набору даних «Будівлі і споруди». Джерело. Геопортал Житомирської міської ради.

API KEY: 7836245842

Table: data\_architecture.architecture

Offset:

Limit:

Filter:

Order:

ID:

XY:

Send

Спеціальні фільтри

cd - сьогодні cdate=cd, -cd - вчора cdate=-cd

sw - поточний тиждень cdate=sw, -sw - минулий тиждень cdate=-sw

cm - поточний місяць cdate=cm, -cm минулий місяць cdate=-cm

cq - поточний квартал cdate=cq, -cq минулий квартал cdate=-cq

cy - поточний рік cdate=cy, -cy - минулий рік cdate=-cy

**Рис. 4. Фрагмент веб-інтерфейсу середовища API Server.**

Джерело. Геопортал Хмельницької міської ради.

вище API Server геопорталу Хмельницької міської ради (рис. 4).

Також на національному геопорталі НІГД реалізовано сервіси візуалізації на основі геоінформаційних сервісів типу WMS та WMTS. Це дозволило налаштувати підключення до наборів даних, що вже опубліковані на існуючих геопорталах загальнодержавного, регіонального і локального рівнів.

На детальній картці метаданих кожного набору даних, що публікується на геопорталі НІГД, є можливість отримати посилання для підключення шару за допомогою сервісів або отримати безпосередньо дані в доступних форматах. Слід зазначити, що наявність створених сервісів REST API

### 1. Кількість опублікованих наборів даних на геопорталах ОМС

№ з/п	Назва геопорталу	Геоінформаційний сервіс	Кількість наборів даних на геопорталі
1	Офіційний геопортал Чернівецької міської ради	WMTS	2
2	Офіційний геопортал Чернівецької міської ради	REST API (GeoJSON)	30
3	Офіційний геопортал Чернівецької міської ради	VectorTile	30
4	Офіційний геопортал Житомирської міської ради	WMTS	26
5	Офіційний геопортал Житомирської міської ради	REST API (GeoJSON)	77
6	Офіційний геопортал Житомирської міської ради	VectorTile	77
7	Геопортал Львівської міської ради	REST API (GeoJSON)	8
8	Геопортал Львівської міської ради	VectorTile	8
9	Геопортал Львівської міської ради	WMTS	37
10	Геоінформаційна система Рівненської міської територіальної громади	REST API (GeoJSON)	11
11	Геоінформаційна система Рівненської міської територіальної громади	VectorTile	9
12	Геоінформаційна система Рівненської міської територіальної громади	WMTS	9
13	Геоінформаційна система Активи міста Ужгород	REST API (GeoJSON)	22
14	Геоінформаційна система Активи міста Ужгород	VectorTile	22
15	Геоінформаційна система Активи міста Ужгород	WMTS	5
16	Офіційний геопортал Хмельницької міської ради	REST API (GeoJSON)	40
17	Офіційний геопортал Хмельницької міської ради	WMTS	160

Джерело. Сформовано автором

(GeoJSON) та VectorTile на досліджених геопорталах не є альтернативою WFS-сервісу, оскільки другий є стандартизованим рішенням, яке має бути обов'язково реалізовано для базових наборів геопросторових даних громади в першу чергу.

Отже, встановлено, що на геопорталах ОМС та ОДА реалізовані різні типи геоінформаційних сервісів, які дають можливість користувачам використовувати геопросторові дані для задоволення власних потреб.

Також на геопорталі НІГД реалізовано сервіси CSW для забезпечення виявлення наборів та сервісів геопросторових даних на основі вмісту метаданих та відображення їх вмісту, отриманих з інших геопорталів, за відповідною структурою метаданих, враховуючи мінімальний набір критеріїв пошуку метаданих, що визначені у технічних вимогах до метаданих наборів даних та геоінформаційних сервісів.

Каталог геоінформаційних сервісів держателів даних містить відомості про реалізовані сервіси на геопорталі НІГД:

1) сервіси CSW для забезпечення виявлення наборів та сервісів геопросторових даних на основі вмісту метаданих та відображення їх вмісту;

2) сервіси візуалізації, наприклад, WMS для розподілу і використання наборів геопросторових даних публічними суб'єктами і третіми особами, а також з метою публікації наборів геопросторових даних за допомогою національного геопорталу;

3) сервіси завантаження, наприклад, WFS і WCS, для розподілу і використання наборів геопросторових даних публічними суб'єктами та третіми особами;

4) сервіси перетворення, вико-

ристовуючи стандартні технології для мережних сервісів SOAP, визначені за допомогою WSDL, і специфікації WS-Addressing, використовуючи формат RIF для визначень відповідності схем перетворення, мова розмітки XML для елементів конфігурації і мова GML для схеми-джерела перетворення.

Адміністратор національної інфраструктури геопросторових даних забезпечує пошук і доступ до мережних сервісів, за допомогою належного йому національного геопорталу і виконує тестування і моніторинг цих сервісів.

### **Висновки**

З урахуванням розглянутих реалізованих геопорталів та їх геоінформаційних сервісів сформовано загальний стан розвитку технологій геовізуалізації та основні її тенденції:

– високий темп впровадження геопорталів в органах влади та місцевого самоврядування до лютого 2022 року;

– функціонал національного геопорталу НІГД дає можливість держателям даних вносити метадані та підключати геосервіси власних геопорталів, а користувачам їх використовувати;

– активне використання веб-орієнтованих ГІС і хмарних технологій органами місцевого самоврядування;

– практична відсутність геосервісів типу WFS, особливо для базових геопросторових даних, що є обов'язковим відповідно до вимог чинного законодавства у сфері НІГД.

Отже, на сьогодні технології геовізуалізації використовуються у геоінформаційному середовищі з метою прийняття управлінських рішень,

забезпечення прозорості влади, проте залишаються невирішеними питання створення та функціонування геоінформаційних сервісів базових геопросторових даних на загальнодержавному та місцевому рівнях.

---

#### Список використаної літератури

1. Карпінський Ю. О., Лященко А. А., Лазоренко Н. Ю., Кінь Д. О. Основи створення інтероперабельних геопросторових даних. Київ : КНУБА, 2023. URL: <https://repository.knuba.edu.ua/handle/123456789/14205>.
2. Karpinskyi Yu., Lazorenko-Hevel N., Kin D. INSPIREID implementation in the topographic database of the main state topographic map of Ukraine. *ISTCG-CAIP*. 2020. Vol. 91. P. 20–27. <https://doi.org/10.23939/istcgcap2020.91.020>.
3. Karpinskyi Yu., Lyashchenko A., Lazorenko-Hevel N., Cherin A., Kin D., Havryliuk Ye. Main state topographic map: structure and principles of the creation of a database. *Geoinformatics*. 2021. Vol. 2021. P. 1–6. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.20215521043>.
4. Лященко А., Карпінський Ю., Гаврилюк Є., Черін А. Методи та засоби забезпечення інтероперабельності компонентів національної інфраструктури геопросторових даних. *Містобудування та територіальне планування*. 2021. № 77. С. 309–319. <https://doi.org/10.32347/2076-815x.2021.77.309-319>.
5. Huang M., Fan X., Jian H., Zhang H., Guo L., Di L. Bibliometric analysis of OGC specifications between 1994 and 2020 based on Web of Science. *ISPRS International Journal of Geo-Information*. 2022. Vol. 11, No. 4. P. 251. <https://doi.org/10.3390/ijgi11040251>.
6. Varol M. B., Şanlıoğlu İ. Open geospatial consortium web map and feature services and free/open source server/client software. *International Journal of Engineering and Geosciences*. 2017. Vol. 2, No. 1. P. 17–26. <https://doi.org/10.26833/ijeg.286691>.
7. Hamza M. H., Chmit M. GIS-based planning and web/3D web GIS applications for the analysis and management of MV/LV electrical networks (a case study in Tunisia). *Applied Sciences*. 2022. Vol. 12, No. 5. P. 2554. <https://doi.org/10.3390/app12052554>.
8. Iadanza C., Trigila A., Starace P., Dragoni A., Biondo T., Roccisano M. IdroGEO: a collaborative web mapping application based on REST API services and open data on landslides and floods in Italy. *ISPRS International Journal of Geo-Information*. 2021. Vol. 10, No. 2. P. 89. <https://doi.org/10.3390/ijgi10020089>.
9. Netek R., Pohankova T., Bittner O., Urban D. Geospatial analysis in web browsers: comparison study on WebGIS process-based applications. *ISPRS International Journal of Geo-Information*. 2023. Vol. 12, No. 9. P. 374. <https://doi.org/10.3390/ijgi12090374>.
10. Ferrari E., Striewski F., Tiefenbacher F., Bereuter P., Oesch D., Di Donato P. Search engine for Open Geospatial Consortium web services: improving discoverability through natural language processing-based processing and ranking. *ISPRS International Journal of Geo-Information*. 2024. Vol. 13, No. 4. P. 128. <https://doi.org/10.3390/ijgi13040128>.
11. Trystuła A., Dudzińska M., Żróbek R. Evaluation of the completeness of spatial data infrastructure in the context of cadastral data sharing. *Land*. 2020. Vol. 9, No. 8. P. 272. <https://doi.org/10.3390/land9080272>.
12. Baella B., Lleopard A., Pla M. ICC topographic databases: design of a MRDB for data management optimization. In: Proceedings of the 15th ICA Workshop on Generalisation and Multiple Representation. Istanbul, 2012. URL: <https://kartographie.geo.tu-dresden.de/downloads/>

- ica-gen/submissions2012/genemr2012\_session4\_sub4.pdf.
13. Zhang X., Guo T., Huang J., Xin Q. Propagating updates of residential areas in multi-representation databases using constrained Delaunay triangulations. *ISPRS International Journal of Geo-Information*. 2016. Vol. 5, No. 6. P. 80. <https://doi.org/10.3390/ijgi5060080>.
  14. Çobankaya O. N., Uluğtekin N. Updating the multiple representation database. In: Proceedings of the 26th International Cartographic Conference. 2013. P. 1–8. URL: [https://icaci.org/files/documents/ICC\\_proceedings/ICC2013/\\_extended\\_Abstract/49\\_proceeding.pdf](https://icaci.org/files/documents/ICC_proceedings/ICC2013/_extended_Abstract/49_proceeding.pdf).
  15. Çobankaya O. N., Uluğtekin N. Creating multiple representation database for population object class: deriving representation levels and object matching. In: Proceedings of the 27th International Cartographic Conference. 2015. P. 1–14. URL: [https://dev.icaci.org/files/documents/ICC\\_proceedings/ICC2015/papers/3/fullpaper/T3-530\\_1429279089.pdf](https://dev.icaci.org/files/documents/ICC_proceedings/ICC2015/papers/3/fullpaper/T3-530_1429279089.pdf).
  16. Stoter J., Visser T., van Oosterom P., Quak W., Bakker N. A semantic-rich multi-scale information model for topography. *International Journal of Geographical Information Science*. 2011. Vol. 25, No. 5. P. 739–763. <https://doi.org/10.1080/13658816.2010.490218>.
  17. Brewer C. A., Stanislawski L. V., Battenfield B. P., Sparks K. A., McGilloway J., Howard M. A. Automated thinning of road networks and road labels for multiscale design of The National Map of the United States. *Cartography and Geographic Information Science*. 2013. Vol. 40, No. 4. P. 259–270. <https://doi.org/10.1080/15230406.2013.799735>.
  - Osnovy stvorennia interoperabelnykh heoprostorovykh danykh [Fundamentals of creating interoperable geospatial data]. KNUBA. Available at: <https://repository.knuba.edu.ua/handle/123456789/14205> [in Ukrainian].
  2. Karpinskyi, Yu., Lazorenko-Hevel, N., & Kin, D. (2020). INSPIREID implementation in the topographic database of the main state topographic map of Ukraine. *ISTCGCAP*, 91(91), 20–27. <https://doi.org/10.23939/istcgcap2020.91.020>.
  3. Karpinskyi, Yu., Lyashchenko, A., Lazorenko-Hevel, N., Cherin, A., Kin, D., & Havryliuk, Ye. (2021). Main state topographic map: Structure and principles of the creation of a database. *Geoinformatics*, 2021, 1–6. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.20215521043>.
  4. Liashchenko, A., Karpinskyi, Yu., Havryliuk, Ye., & Cherin, A. (2021). Metody ta zasoby zabezpechennia interoperabelnosti komponentiv natsionalnoi infrastruktury heoprostorovykh danykh [Methods and tools for ensuring interoperability of components of the national geospatial data infrastructure]. *Mistobuduvannia ta terytorialne planuvannia*, 77, 309–319. <https://doi.org/10.32347/2076-815x.2021.77.309-319> [in Ukrainian].
  5. Huang, M., Fan, X., Jian, H., Zhang, H., Guo, L., & Di, L. (2022). Bibliometric analysis of OGC specifications between 1994 and 2020 based on Web of Science. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 11(4), 251. <https://doi.org/10.3390/ijgi11040251>.
  6. Varol, M. B., & Şanlıoğlu, İ. (2017). Open Geospatial Consortium web map and feature services and free/open source server/client software. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 2(1), 17–26. <https://doi.org/10.26833/ijeg.286691>.
  7. Hamza, M. H., & Chmit, M. (2022). GIS-based planning and web/3D web GIS applications for the analysis and management

## References

1. Karpinskyi, Yu. O., Liashchenko, A. A., Lazorenko, N. Yu., & Kin, D. O. (2023).

- of MV/LV electrical networks (a case study in Tunisia). *Applied Sciences*, 12(5), 2554. <https://doi.org/10.3390/app12052554>.
8. Iadanza, C., Trigila, A., Starace, P., Dragoni, A., Biondo, T., & Roccisano, M. (2021). IdroGEO: A collaborative web mapping application based on REST API services and open data on landslides and floods in Italy. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 10(2), 89. <https://doi.org/10.3390/ijgi10020089>.
  9. Netek, R., Pohankova, T., Bittner, O., & Urban, D. (2023). Geospatial analysis in web browsers: Comparison study on WebGIS process-based applications. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 12(9), 374. <https://doi.org/10.3390/ijgi12090374>.
  10. Ferrari, E., Striewski, F., Tiefenbacher, F., Bereuter, P., Oesch, D., & Di Donato, P. (2024). Search engine for Open Geospatial Consortium web services: Improving discoverability through natural language processing-based processing and ranking. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 13(4), 128. <https://doi.org/10.3390/ijgi13040128>.
  11. Trystuła, A., Dudzińska, M., & Żróbek, R. (2020). Evaluation of the completeness of spatial data infrastructure in the context of cadastral data sharing. *Land*, 9(8), 272. <https://doi.org/10.3390/land9080272>.
  12. Baella, B., Lleopart, A., & Pla, M. (2012). ICC topographic databases: Design of a MRDB for data management optimization. In Proceedings of the 15th ICA Workshop on Generalisation and Multiple Representation. Available at: [https://kartographie.geo.tu-dresden.de/downloads/ica-gen/submissions2012/genemr2012\\_session4\\_sub4.pdf](https://kartographie.geo.tu-dresden.de/downloads/ica-gen/submissions2012/genemr2012_session4_sub4.pdf).
  13. Zhang, X., Guo, T., Huang, J., & Xin, Q. (2016). Propagating updates of residential areas in multi-representation databases using constrained Delaunay triangulations. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 5(6), 80. <https://doi.org/10.3390/ijgi5060080>.
  14. Çobankaya, O. N., & Uluğtekin, N. (2013). Updating the multiple representation database. In Proceedings of the 26th International Cartographic Conference (pp. 1–8). Available at: [https://icaci.org/files/documents/ICC\\_proceedings/ICC2013/\\_extended\\_Abstract/49\\_proceeding.pdf](https://icaci.org/files/documents/ICC_proceedings/ICC2013/_extended_Abstract/49_proceeding.pdf).
  15. Çobankaya, O. N., & Uluğtekin, N. (2015). Creating multiple representation database for population object class: Deriving representation levels and object matching. In Proceedings of the 27th International Cartographic Conference (pp. 1–14). Available at: [https://dev.icaci.org/files/documents/ICC\\_proceedings/ICC2015/papers/3/full-paper/T3-530\\_1429279089.pdf](https://dev.icaci.org/files/documents/ICC_proceedings/ICC2015/papers/3/full-paper/T3-530_1429279089.pdf).
  16. Stoter, J., Visser, T., van Oosterom, P., Quak, W., & Bakker, N. (2011). A semantic-rich multi-scale information model for topography. *International Journal of Geographical Information Science*, 25(5), 739–763. <https://doi.org/10.1080/13658816.2010.490218>.
  17. Brewer, C. A., Stanislawski, L. V., Battenfield, B. P., Sparks, K. A., McGilloway, J., & Howard, M. A. (2013). Automated thinning of road networks and road labels for multiscale design of The National Map of the United States. *Cartography and Geographical Information Science*, 40(4), 259–270. <https://doi.org/10.1080/15230406.2013.799735>.
- 

**Zinenko R.**

**THE STATE OF SERVICE-ORIENTED TECHNOLOGIES FOR THE GEOVISUALIZATION OF GEOSPATIAL DATA IN UKRAINE AND TRENDS IN THEIR DEVELOPMENT**

LAND MANAGEMENT, CADASTRE AND LAND MONITORING 2'26: 32-43.

<http://dx.doi.org/10.31548/zemleustriy2026.02.03>

**Abstract.** *This article examines the current state of geospatial data visualization technologies and identifies the main trends in their development in the context of digitalization. It analyzes the architecture and functional capabilities of the national geoportal, as well as the network of geoportals operated by local governments and state administrations. The scientific novelty of the work lies in a systematic analysis of the implementation of service-oriented architecture (SOA) and Open Geospatial Consortium standards (WMS, WMTS, WFS, CSW) in domestic digital governance practices. A transition from static mapping to dynamic web-oriented GIS platforms has been identified. The research results, based on an analysis of real-world case studies of urban communities, demonstrate a high level of integration of visualization services (WMTS, WMS) despite a shortage of services providing direct access to objects (WFS, VectorTile). The conclusions drawn contribute to the optimization of spatial planning processes, territorial monitoring, and the making of informed management decisions in the context of the digital transformation of the state. The results of the study can be used to improve geoportals and develop geospatial data infrastructure.*

**Keywords:** *geoinformation service; cartography; geoportal; geographic information system; NSDI; geospatial data; geospatial database; integration; service.*

---

---

# УПРАВЛІННЯ ЗЕМЕЛЬНИМИ РЕСУРСАМИ ТА ЗЕМЛЕУСТРІЙ

---

ISSN 2306-1677 (Print) ISSN 2518-7325 (On-line)

Отримано: 16.03.2026; Прийнято: 06.04.2026; Опубліковано: 30.05.2026;

УДК 349.41:332.3:711.4](477:355.01) <http://dx.doi.org/10.31548/zemleustriy2026.02.04>

---

## ЗЕМЛІ ЗРУЙНОВАНИХ НАСЕЛЕНИХ ПУНКТІВ В УКРАЇНІ: ПРАВОВИЙ РЕЖИМ, ЗЕМЛЕВПОРЯДНА КОНВЕРСІЯ ТА ЕКОНОМІКА ПОСТПОСЕЛЕНСЬКИХ ТЕРИТОРІЙ

---

**А.Г. МАРТИН,**

*доктор економічних наук, професор, член-кореспондент НААН*

*Email: martyn@nubip.edu.ua*

*ORCID: 0000-0002-6905-2445*

**Л.А. ГУНЬКО,**

*доктор економічних наук, доцент,*

*Email: gunko\_l@nubip.edu.ua*

*ORCID: 0000-0002-9454-744X*

**А.М. ПОЛТАВЕЦЬ,**

*доктор економічних наук, доцент,*

*Email: afzy@ukr.net*

*ORCID: 0000-0002-3310-3271*

**О.М. ЧУМАЧЕНКО,**

*доктор економічних наук, доцент,*

*Email: chumachenko\_o@nubip.edu.ua*

*ORCID: 0000-0002-1560-5518*

*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

**Анотація.** У статті досліджено землі зруйнованих населених пунктів в Україні як новий об'єкт земельно-правового та землепорядного регулювання, що формується в умовах повномасштабної війни та не зводиться до традиційної проблематики відбудови. Обґрунтовано, що універсалізація парадигми «build back better» є методологічно недостатньою для українського контексту, оскільки частина зруйнованих міст, селищ і сіл об'єктивно втратила або в перспективі втратить здатність до відновлення як повноцінні поселення через поєднання безпекових, демографічних, економічних та інфраструктурних

чинників. Показано, що воєнне руйнування не перетворює територію населеного пункту на юридично вільний простір: навіть за фактичного знелюднення вона залишається структурованою множинністю приватних і публічних речових прав на землю, нерухоме майно та інші об'єкти, що унеможлиблює її спонтанне переведення до нового використання без спеціального правового механізму. Метою дослідження є сформувати цілісну науково-практичну концепцію правового режиму земель зруйнованих населених пунктів, визначити критерії їх фактичної втрати поселенської життєздатності, розробити юридично коректний алгоритм землевпорядної конверсії таких територій та обґрунтувати інституційну й економічну модель їх подальшого використання. Методологічну основу становлять аналіз нормативно-правових актів України, міжнародних програмних і аналітичних документів, офіційних даних щодо руйнувань, переміщення населення та протимінної діяльності. Запропоновано робочі поняття «смуга поселенської дезінтеграції» та «грейфільди війни» для позначення колишніх поселенських територій, незворотно пошкоджених війною і позбавлених реалістичної перспективи відновлення як місць постійного проживання. Обґрунтовано необхідність спеціального правового режиму, що має поєднувати аудит життєздатності населеного пункту, інвентаризацію земель і майна, виявлення правовласників, добровільний викуп або примусове відчуження з належною компенсацією, депонування коштів для невстановлених осіб, очищення, рекультивацию та подальшу зміну функціонального використання території. Практична цінність статті полягає у формуванні концептуально й інструментально узгодженої рамки для переходу від політики відбудови до політики правомірної конверсії територій, що втратили поселенську функцію, та для запобігання їх тривалий просторовій занедбаності.

**Ключові слова:** землі зруйнованих населених пунктів; землеустрій; правовий режим земель; повоєнне відновлення; грейфільди війни; поселенська дезінтеграція; консолідація прав; примусове відчуження; рекультивација земель; просторове планування; постпоселенські території.

## Постановка проблеми

Повоєнне відновлення України дедалі частіше концептуалізується крізь призму міжнародної доктрини build back better, відповідно до якої відбудова після катастрофи має не просто відновити втрачене, а підвищити стійкість територій, інфраструктури, економіки та суспільних систем. Саме так ця категорія визначається в термінології UNDRR і в логіці імплементації Сендайської рамкової програми зі зменшення ризику лих [1; 2]. Водночас для України, яка переживає

не одномоментну природну катастрофу, а тривалу повномасштабну міждержавну війну з повторюваними ударами по цивільній, енергетичній, транспортній та виробничій інфраструктурі, універсалізація цієї парадигми є методологічно ризикованою. В умовах зтяжної воєнної загрози, просторово нерівномірної безпеки, масштабного вимушеного переміщення населення та руйнування локальних економічних баз далеко не кожен зруйнований населений пункт може бути реалістично відновлений як повноцінне місце проживання,

зайнятості та відтворення людського капіталу [3; 4].

Масштаб проблеми має системний характер. За даними п'ятої спільної оцінки збитків і потреб у відновленні України (RDNA5), підготовленої Світовим банком, Урядом України, Європейським Союзом та Організацією Об'єднаних Націй, станом на 31 грудня 2025 р. сукупний обсяг прямих пошкоджень будівель та інфраструктури становив 195,1 млрд дол. США, а загальні потреби у відновленні й реконструкції на 2026-2035 рр. оцінено у 587,7 млрд дол. США. При цьому приблизно 14 % національного житлового фонду пошкоджено або зруйновано, що зачепило понад 3 млн домогосподарств; 75 % усього обсягу пошкоджень зосереджено у прифронтових областях, а серед найбільш уражених секторів поряд із житлом перебувають транспорт, енергетика, комерція та промисловість [3]. Ці показники свідчать, що йдеться не про окремі локальні епізоди руйнування, а про глибоку просторову деформацію значних масивів території, де фізична шкода накладається на довготривалу втрату функціональної зв'язності поселень.

Однак центральна проблема полягає не лише в масштабі руйнувань як таких, а в тому, що значна частина сучасного дискурсу відновлення виходить із мовчазної презумпції майбутньої реурбанізації: якщо будівлі можна відбудувати, то населений пункт може бути повернений до життя. Для частини українських територій така презумпція є надмірно оптимістичною. Ураження житлового фонду в багатьох випадках супроводжується руйнуванням або зупинкою підприємств, які були основою локальної зайнятості, джере-

лом доходів населення та податкової спроможності громади. RDNA5 окремим фіксує 19,2 млрд дол. США прямих пошкоджень у секторі commerce and industry та 232,9 млрд дол. США втрат у цьому секторі, що свідчить про масштабну деградацію продуктивних активів, а не лише житлової забудови [3]. За таких умов відбудова будинків без відновлення економічного ядра поселення не створює самодостатньої моделі повернення населення, а лише консервує територію з низькою життєздатністю.

Додатковим фактором є безпекова невизначеність, яка в умовах ймовірного тривалого режиму перемир'я, а не остаточного усунення воєнної загрози, об'єктивно знижує інвестиційну привабливість прифронтових та потенційно повторно уражуваних територій. У цьому контексті вирішальним є не лише факт попереднього руйнування, а й очікування майбутнього ризику. Офіційні матеріали UNHCR прямо наголошують, що безпекова ситуація в Україні залишається високоволатильною й непередбачуваною, а перетини кордону у зворотному напрямку самі по собі не можуть тлумачитися як ознака сталого повернення [5]. Отже, навіть за наявності морально і політично зрозумілого запиту на відбудову, економічна раціональність довгострокових приватних інвестицій у високовартісні виробництва на територіях, що залишаються в зоні стратегічного ризику, є істотно обмеженою.

Не менш важливою є демографічна складова проблеми. За даними ІОМ, станом на кінець 2025 р. в Україні перебували приблизно 3,712 млн внутрішньо переміщених осіб, а 4,405 млн осіб були класифіковані як returnees; водночас UNHCR фіксував

5,75 млн українських біженців у світі у вересні 2025 р., з них 5,2 млн – у Європі [4; 6]. Навіть без категоричних висновків про незворотність міграції ці дані підтверджують тривале просторове переформатування населення країни. Частина домогосподарств уже інтегрувалася в нові локальні ринки праці, системи освіти, житла та соціальних послуг в Україні або за кордоном. Тому для значної кількості зруйнованих міст, селищ і сіл проблема полягає не лише у фізичній відбудові об'єктів, а в тому, чи існуватиме після війни соціально-демографічна база для відновлення школи, дитячого садка, амбулаторії, громадського транспорту, локального бізнесу та комунального господарства в цілому [3; 4; 6].

У прифронтових і депресивних поселеннях ця проблема посилюється структурою населення. Старші вікові групи зазвичай демонструють нижчу просторову мобільність і вищу прихильність до збереження звичного укладу, навіть за підвищеного рівня небезпеки, тоді як сім'ї з дітьми та економічно активне населення мають значно вищу ймовірність переміщення та адаптації в безпечніших середовищах. Відповідно, навіть часткове повернення мешканців не тотожне відновленню поселення як економічно й соціально самовідтворюваної системи. Для частини територій більш імовірним є сценарій подальшого скорочення населення з переважанням неекономічно активних груп, а отже – зниженням попиту на соціальну інфраструктуру та ослабленням фінансової бази місцевого самоврядування [3; 4].

Ще один фундаментальний аспект проблеми полягає в тому, що воєнне руйнування не перетворює терито-

рію населеного пункту на юридично «вільний простір». Земля в Україні є об'єктом права власності, що перебуває під особливою охороною держави; право власності на землю гарантується, а примусове відчуження об'єктів приватної власності можливе лише як виняток з мотивів суспільної необхідності, на підставі й у порядку, встановлених законом, та за умови попереднього і повного відшкодування їх вартості [7; 8]. Земельний кодекс України прямо визначає підстави припинення права власності на земельну ділянку і не передбачає автоматичного припинення такого права внаслідок руйнування забудови чи фактичного знелюднення поселення [8]. Аналогічно Закон України «Про відчуження земельних ділянок, інших об'єктів нерухомого майна, що на них розміщені, які перебувають у приватній власності, для суспільних потреб чи з мотивів суспільної необхідності» встановлює спеціальний, процедурно складний механізм припинення таких прав, що підтверджує: публічний інтерес сам по собі не анулює приватні речові права без окремої юридичної процедури [9].

Більше того, навіть знищення будівлі не означає автоматичного зникнення всього комплексу правовідносин, пов'язаних із територією. Цивільний кодекс України передбачає окрему конструкцію припинення права власності внаслідок знищення майна, але така норма не розв'язує питання долі земельної ділянки, прав на інфраструктурні об'єкти, обтяжень, спадкових прав, прав користування, а також не замінює спеціальних процедур державної реєстрації та врегулювання правового статусу майна [10; 11]. Показово, що сам український законодавець після 2022 р. створив окре-

мий Закон про компенсацію за пошкоджене та знищене нерухоме майно й Державний реєстр майна, пошкодженого та знищеного внаслідок бойових дій, чим фактично визнав: зруйнований об'єкт не перестає бути юридично значущим лише тому, що він фізично пошкоджений або навіть знищений [12]. Отже, проектувати просторове майбутнє зруйнованих поселень, ігноруючи множинність приватних прав на землю та нерухомість, означає закладати в модель відновлення фундаментальну правову помилку.

Саме тут виявляється одна з найменш досліджених прогалин української земельно-правової та землепорядної науки. У фокусі публічної й експертної уваги перебувають переважно компенсація житла, відбудова інфраструктури, відновлення громад і нові планувальні рішення. Натомість значно менше уваги приділяється ситуації, коли населений пункт із високою ймовірністю вже не буде повторно заселений або відновлений у довоєнному функціональному вигляді, але його територія залишається роздробленою на сотні чи тисячі земельних ділянок житлової, громадської, комерційної та іншої забудови з чинними або потенційно відновлюваними речовими правами. У такій ситуації виникає принципово інше питання: не як відбудувати поселення, а як правомірно перевести територію з режиму поселення у режим іншого використання без порушення прав людини, без створення хронічної «закинутості» території та без блокування нової економічної функції.

Проблема ускладнюється тим, що історичні аналогії в українському праві є лише частково релевантними. Так, правова система України знає прецеденти територій відселен-

ня після Чорнобильської катастрофи, зокрема режим зони відчуження та зони безумовного (обов'язкового) відселення [13; 14]. Водночас ці приклади не можуть бути механічно перенесені на сучасні зруйновані поселення, оскільки нинішня проблема розгортається в умовах повноцінного ринку нерухомості, конституційно гарантованої приватної власності на землю, державної реєстрації речових прав та значної кількості приватних інтересів, розсіяних між власниками, спадкоємцями, користувачами й кредиторами [7; 8; 11]. Саме тому формально-адміністративне «зняття з життя» населеного пункту ще не означає ні припинення приватних прав, ні появи в державі або громаді вільного земельного фонду для нового планування.

Додатковий вимір проблеми створює мінна й вибухова небезпека. RDNA5 прямо наголошує, що вибухонебезпечні залишки війни та мінне забруднення мають міжсекторальний характер, безпосередньо обмежуючи доступ до землі, інфраструктури, публічних послуг і засобів до існування, а відновлення економічної активності в забруднених районах залежить від попереднього обстеження та безпечного повернення територій у використання [15]. Національна стратегія протимінної діяльності України до 2033 року, своєю чергою, підтверджує, що йдеться не про короткострокову технічну проблему, а про довготривалу державну політику [16]. Це означає, що навіть там, де відбудова теоретично можлива, земельно-просторові рішення не можуть зводитися до архітектурного або містобудівного проектування; вони мають спиратися на правовий режим території, порядок консолідації прав, алгоритм очи-

щення, рекультивації та зміни функціонального використання.

Отже, наукова проблема полягає в тому, що сучасний відбудовчий дискурс в Україні значною мірою зосереджений на реконструкції матеріального середовища, але ще недостатньо концептуалізує долю земель зруйнованих населених пунктів як самостійного об'єкта правового та землепорядного регулювання. Для частини таких територій питання вже полягає не у відтворенні довоєнної забудови, а у визначенні нового правового режиму, який би дозволив: 1) визнати фактичну втрату життєздатності поселення; 2) врегулювати множинні приватні права на землю та нерухомість; 3) забезпечити компенсаційно сумісне з правами людини припинення або трансформацію таких прав; 4) провести очищення, рекультивацію та землепорядну конверсію; 5) запобігти довготривалій просторовій занедбаності територій. Саме відсутність цілісної юридично-економічної моделі для таких випадків і становить ту наукову та практичну проблему, яка потребує окремого дослідження в межах земельного права, землеустрою та політики поствоєнного відновлення.

**Метою статті** є формування цілісної науково-практичної концепції правового режиму земель зруйнованих населених пунктів в Україні в умовах повномасштабної війни шляхом теоретичного обґрунтування того, що частина таких територій об'єктивно втратила або в перспективі втратить здатність до відновлення як повноцінних поселень, а відтак потребує не традиційної моделі відбудови, а спеціального механізму землепорядної конверсії; у цьому зв'язку стаття спрямована на вияв-

лення правових, демографічних, безпекових, економічних і просторових чинників незворотності руйнування, визначення земельно-майнових наслідків фактичної втрати населеним пунктом своєї життєздатності, розроблення юридично коректного та сумісного з гарантіями права власності алгоритму трансформації таких територій, а також на обґрунтування інституційної та економічної моделі їх подальшого використання, яка б унеможливила тривалу просторову занедбаність, забезпечувала рекультивацію, консолідацію прав і перехід земель до нового суспільно корисного функціонального призначення.

### **Матеріали і методи дослідження**

Матеріальну основу дослідження становили нормативно-правові акти України, міжнародні програмні та аналітичні документи, офіційні статистичні й оціночні матеріали, а також наукові публікації, що стосуються повоєнного відновлення, правового режиму землі, речових прав на нерухоме майно, адміністративно-територіального устрою, внутрішнього переміщення населення, протиміної діяльності та управління територіями, які зазнали масштабних руйнувань [1–17]. До джерельної бази включено лише ті матеріали, які мають належний офіційний, науковий або інституційно визнаний статус і дозволяють поєднати правовий, демографічний, безпековий, економічний та просторовий виміри проблеми. При цьому автори свідомо виходять із того, що в умовах триваючої війни будь-які кількісні дані щодо масштабів руйнувань, переміщення населення, фактичної заселеності окремих територій та еко-

номічної життєздатності поселень мають динамічний характер, а тому використовуються не як остаточні, а як найбільш достовірні на момент підготовки статті емпіричні орієнтири для правового й землевпорядного аналізу [3–6; 15; 16].

Методологічно дослідження ґрунтується на поєднанні формально-юридичного, системно-структурного, порівняльно-правового, функціонального та проблемно-орієнтованого підходів. Формально-юридичний метод застосовано для встановлення чинного правового режиму земель зруйнованих населених пунктів, аналізу підстав припинення прав на землю і нерухоме майно, порядку ліквідації населених пунктів, а також допустимих меж втручання держави у сферу приватної власності [7–14]. Системно-структурний метод використано для виявлення взаємозв'язків між адміністративно-територіальним статусом населеного пункту, земельно-майновою структурою території, демографічними процесами, безпековими обмеженнями та перспективами нового функціонального використання. Порівняльно-правовий і функціональний підходи дали змогу зіставити міжнародну логіку *build back better* із специфікою української воєнної ситуації та показати межі прямого перенесення відбудовчих концепцій на території, що можуть втратити поселенську функцію [1; 2; 8; 9]. Окремо застосовано елементи доктринального тлумачення, за допомогою яких обґрунтовано потребу в спеціальному правовому режимі для земель колишніх або фактично нежиттєздатних поселень.

Емпірично-аналітична частина дослідження базується на методі критичного опрацювання вторинних даних та на побудові авторських аналі-

тичних конструкцій, зокрема понять, класифікацій і модельних рішень. До таких конструкцій належать, зокрема, робоче поняття «смуги поселенської дезінтеграції», категорія «грейфідлів війни», типологія напрямів майбутнього використання територій колишніх населених пунктів, а також ілюстративна економічна модель їхньої землевпорядної конверсії. У зв'язку з відсутністю на сьогодні завершених державних реєстрів життєздатності зруйнованих поселень і стандартизованої методики визначення незворотності їхнього занепаду, частина висновків статті має характер науково обґрунтованих припущень, а не остаточно встановлених фактів; такі припущення прямо відмежовуються від офіційної статистики і подаються виключно як інструмент постановки проблеми та розроблення нормативно-прогностичної моделі [3; 4; 15–17]. Саме тому дослідження не претендує на вичерпну інвентаризацію всіх зруйнованих поселень України, а зосереджується на виробленні концептуальної рамки, яка може бути використана як основа для подальших прикладних, кадастрових, економічних і законопроектних розробок.

### ***Аналіз останніх досліджень і публікацій***

Корпус сучасних досліджень і аналітичних документів, присвячених повоєнному відновленню України, уже є значним, однак він демонструє виразну концептуальну асиметрію: переважна більшість праць розглядає руйнування як передумову для модернізаційного перезапуску територій у логіці *build back better*, тоді як сценарій незворотної втрати частиною населених пунктів своєї поселенської

функції залишається майже неартикульованим. Це стосується як міжнародних рамкових документів, де *build back better* трактується як відновлення з підвищенням стійкості, безпеки та якості середовища [1; 2], так і українських урядових та донорських програмних текстів, у яких відбудова послідовно пов'язується з модернізацією, європейською інтеграцією, «зеленим» переходом, підвищенням енергоефективності, розвитком місцевої спроможності та мобілізацією приватного капіталу [3-7]. У цьому інтелектуальному полі домінує припущення, що зруйнований населений пункт є насамперед об'єктом реконструкції, а не потенційно втраченим соціально-економічним організмом.

Перший великий масив літератури формують праці, присвячені інституційній архітектурі відновлення України. У них у центрі уваги перебувають питання координації донорів, ролі держави, місцевого самоврядування, прозорості, підзвітності, реформ та інтеграції відбудови з ширшим порядком денним економічної трансформації. Саме так проблематика поставлена у працях Е. Бергльофа та В. Рашкована, де реконструкція України розглядається як масштабний політико-економічний проект, що потребує нової інституційної архітектури та сильної внутрішньої «ownership» [8]. Подібний підхід простежується і в аналітичних документах OECD, де акцент зроблено на зміцненні регіонального та муніципального врядування, підтримці місцевого економічного розвитку і посиленні територіальної стійкості [9]. Урядові документи, зокрема *Ukraine Plan 2024-2027*, також прямо закріплюють відновлення на принципі *build back better* [4]. Водночас у

цих працях майже не розробляється питання про те, що для частини територій базовою управлінською проблемою може бути не реконструкція громади як місця проживання, а правомірне виведення зруйнованого поселення з режиму населеного пункту та переведення його земель до іншого функціонального використання.

Другий масив становлять дослідження «зеленої», сталої та кліматично орієнтованої реконструкції. В українському та міжнародному полісус-дискурсі вони є особливо впливовими. Йдеться про праці, де війна інтерпретується як історичне «вікно можливостей» для переходу до енергоефективної забудови, декарбонізації, циркулярного використання матеріалів, екологічно чутливого просторового планування й нових стандартів участі громадськості [5-7; 10]. У цих дослідженнях безумовно є важливий нормативний і прикладний потенціал, однак їхня оптика зазвичай залишається відбудовчою: зруйноване середовище мислиться як простір для «кращого» перевлаштування, а не як територія, де внаслідок війни могли бути остаточно втрачені передумови для повторного заселення. Іншими словами, *green recovery* та *sustainable recovery* в наявній літературі переважно відповідають на питання, як слід відбудовувати, але значно рідше – чи слід відбудовувати конкретний населений пункт як поселення взагалі.

Третій напрям утворюють архітектурні та містобудівні праці, присвячені просторовому й образному виміру відбудови. Для них характерне нормативне прагнення використати повоєнне відновлення як шанс для естетичного, функціонального та технологічного оновлення українських міст. У цій групі наукових тек-

стів відчутно домінують теми нової ідентичності міського простору, меморіалізації руйнувань, екологічного дизайну, біофільних підходів, переосмислення публічних просторів і реконструкції зруйнованих кварталів [11; 12]. Показово, що навіть тоді, коли автори фіксують травматичний вимір руйнування, кінцевою рамкою аналізу все одно найчастіше залишається проектування нового міського середовища. Така перспектива є зрозумілою з позицій архітектури, однак вона часто не бере до уваги земельно-правову інерцію зруйнованої території: бойові дії не анулюють права власності на землю, не ліквідують автоматично меж земельних ділянок, не припиняють самі собою речові права на знищені або пошкоджені об'єкти нерухомості і не створюють «чистого аркуша» для містобудівного перепланування [13-16].

Четвертий, значно менш численний, але методологічно важливий блок досліджень стосується демографічних, соціально-просторових та функціональних наслідків війни для територіальних громад. Саме тут з'являються поодинокі підходи, які частково виходять за межі оптимістичного нарративу відбудови. Так, у дослідженні Д. Мальчикової, І. Пилипенка, П. Остапенка та ін. щодо деокупованих територій правобережної Херсонщини прямо вказано на загрози зміни категорій і функцій населених пунктів, спрощення їхньої соціально-просторової структури та складнощі відновлення економічної активності [17]. Саме такі праці є важливими винятками, оскільки вони фіксують, що після війни частина поселень може увійти не в фазу відбудови, а в фазу функціонального згорання. Проте навіть у цих дослідженнях

основний акцент робиться на оцінці людського потенціалу, просторових деформацій та перспектив відновлення громад, а не на правовому режимі земель і механізмах конверсії територій, які фактично перестають бути життєздатними як населені пункти.

Отже, аналіз останніх досліджень і публікацій дає підстави для трьох висновків. По-перше, сучасна література про відновлення України є переважно відбудовчо-нормативною: вона виходить із того, що війна відкриває шанс на «краще» відновлення, модернізацію і підвищення стійкості [1-12]. По-друге, навіть тоді, коли автори визнають масштабні демографічні втрати, переміщення населення, руйнування економічної бази громад та територіальну нерівномірність безпеки, це рідко приводить їх до чесної постановки питання про те, що значна частина зруйнованих міст, селищ і сіл уже ніколи не відновиться у довоєнній функції через об'єктивні соціально-економічні причини [3; 8; 9; 17]. По-третє, у вітчизняній науці практично відсутнє системне дослідження земель зруйнованих населених пунктів як самостійного об'єкта правового регулювання, для якого необхідно поєднати проблематику права власності, припинення та трансформації речових прав, землепорядної консолідації, рекультивациі, запобігання занедбанню (англ. abandonment) та переведення території до нового продуктивного використання [13-16]. Саме ця прогалина і визначає предметну нішу даної статті.

### ***Виклад основного матеріалу дослідження***

Станом на початок п'ятого року повномасштабної війни проблема зе-

мель зруйнованих населених пунктів в Україні набуває рис окремого об'єкта земельної політики, який не зводиться ні до питань відбудови житла, ні до загальної логіки просторового планування після катастроф. Її специфіка полягає в тому, що воєнне руйнування для значної частини поселень уже перестало бути лише тимчасовим пошкодженням матеріального середовища і перетворилося на структурну втрату поселенської життєздатності. На це вказує поєднання трьох процесів: тривалого знищення житлового фонду та інженерної інфраструктури, руйнування виробничих і логістичних функцій, а також затяжного вимушеного вибуття населення з прифронтових і прикордонних територій [3; 4; 6; 16]. У результаті виникає не просто «зруйнований населений пункт», а територія, яка де-факто перестає виконувати функцію постійного поселення, однак де-юре залишається масивом приватних та публічних речових прав на землю, нерухомість, інженерні мережі, багаторічні насадження, об'єкти комунальної власності та інші активи [7-12].

На відміну від ранніх етапів війни, коли руйнування ще часто сприймалися як такі, що можуть бути компенсовані звичайною відбудовою, нині є низка населених пунктів, щодо яких навіть офіційні або напівофіційні джерела використовують лексику фактичного знищення. Наприкінці 2023 р. Головнокомандувач ЗСУ Валерій Залужний прямо заявив, що Мар'їнка «зруйнована ворогом вулиця за вулицею, будинок за будинком» [24]. У 2025 р. Reuters уже описував Мар'їнку як покинуте місто, знищене в ході війни; візуальні матеріали агентства фіксують суцільне поле руїн житлової забудови [25]. Щодо

Вовчанська у 2025 р. українські джерела констатували, що місто перебуває в руїнах, а у листопаді 2025 р. зазначалося, що через ступінь руйнування там фактично неможливо облаштовувати стійкі позиції навіть для оборони [26; 27]. Для деокупованої території показовим є Богородичне Донецької області: після багаторазової зміни контролю село було описане як «virtually wiped out by war», тобто практично стерте війною, а українські та міжнародні репортажі фіксували майже повне знищення забудови [28-30]. Ці приклади важливі не лише як гуманітарні свідчення, а як індикатори нового типу територій, де питання постає вже не про темпи відбудови, а про правову долю землі після фактичного згорання поселенської функції.

Для юридичного й землепорядного аналізу принципово важливо не лише констатувати факт руйнувань, а й окреслити їх просторову логіку. За повідомленнями Reuters, у 2025 р. активна лінія фронту становила близько 1 250 км, а в іншому матеріалі агентства у лютому 2026 р. йшлося про 1 200-км фронт, на якому дронізація війни радикально змінила характер бойових дій [31; 32]. Це означає, що йдеться не про окремі локальні «точки» руйнування, а про довгу контактну смугу, вздовж якої у різні періоди виникає або зберігається високоінтенсивний вплив на поселенську інфраструктуру.

Водночас така смуга не є однорідною. Наявні джерела дозволяють обґрунтовано виділити щонайменше три просторові пояси. Перший – **зона майже суцільного руйнування**, яка в умовах позиційної війни зазвичай формується в межах приблизно **0-10 км від безпосередньої лінії бойо-**

**вого зіткнення**, особливо у секторах тривалого артилерійського протиборства та штурмових дій. Саме в цій відстані в Донецькій області у 2024-2025 рр. застосовувалася примусова евакуація сімей із дітьми; згодом регіональна влада ініціювала розширення цієї дистанції до 15 км [33; 34]. Другий – **зона глибокої деградації життєздатності** в межах приблизно **10-15 км**, де вже не завжди відбувається тотальне фізичне знищення всієї забудови, але системно руйнуються умови для нормального проживання, роботи шкіл, амбулаторій, водопостачання, регулярної торгівлі й транспортного сполучення. На це прямо вказують UNICEF та CEDOS, які розглядають населені пункти ближче 15 км до лінії бою як якісно іншу категорію, не зіставну з відносно стабільнішими «прифронтовими» громадами, розташованими далі [35-37]. Третій – **зона високого ризику повторного ураження**, яка залежно від рельєфу, характеру бойових дій та застосування дронів, керованих авіабомб і далекобійної артилерії може виходити далеко за межі 15 км; ОНСНР і гуманітарні структури ООН фіксували, що вже у 2024-2025 рр. понад половина цивільних втрат у низці періодів припадала на території далі 10 км від фронту [38; 39].

Тому для цілей даного дослідження авторами введено робоче поняття **смуги поселенської дезінтеграції** – простору вздовж фронту, в межах якого поселення втрачають не лише окремі будівлі, а цілісність як соціально-економічні системи. За наявними даними її найбільш жорстке ядро сьогодні обґрунтовано оцінювати у **10 км**, а зону стійкої непридатності до нормального сімейного проживання – у **15 км** від активної лінії бойо-

вого зіткнення; у секторах інтенсивного застосування дронів, авіації та далекобійної зброї фактичний ефект може бути ширшим [33-39]. Саме ця дистанція, а не лише формальне розташування населеного пункту в області бойових дій, має бути покладена в основу майбутньої правової класифікації територій незворотного поселенського занепаду.

Точної офіційної цифри населених пунктів, які, найімовірніше, вже не будуть повторно заселені, сьогодні не існує, і на даному етапі вона не може бути встановлена з належною правовою точністю без окремого державного аудиту життєздатності поселень. Однак аналітичне припущення можливе. Воно має спиратися не на політичну інтуїцію, а на поєднання щонайменше шести критеріїв: 1) розташування у межах 0-15 км від активної лінії бойового зіткнення або в зоні регулярного повторного ураження; 2) тривалість руйнування; 3) ступінь демографічного вибуття; 4) втрату локальної економічної бази; 5) відсутність реалістичних передумов для безпечної інвестиційної реконструкції; 6) юридичну та інфраструктурну складність відновлення [3; 4; 16; 31-39].

Якщо виходити з того, що у 2025 р. бойові дії безпосередньо зачіпали сотні територіальних громад, а перелік територій, на яких ведуться або велися бойові дії чи які були тимчасово окуповані, охоплював громади 13 областей України [40; 41], то навіть консервативний відбір лише тих поселень, які тривалий час перебували або перебувають у ядрі смуги поселенської дезінтеграції, дає підстави для такого попереднього висновку. На **підконтрольній Україні території** кількість населених пунктів, які з ви-

сокою ймовірністю **не відновляться як повноцінно заселені поселення**, можна обережно оцінити в інтервалі від **150 до 250**. Йдеться переважно про невеликі села, селища й окремі малі міста Донецької, Харківської, Херсонської, Запорізької та частково Сумської областей, що пережили або переживають тривале перебування в безпосередній близькості до фронту, повторні евакуації, руйнування житлового фонду та деградацію базових послуг. На **тимчасово окупованій території** ця кількість, імовірно, є вищою – орієнтовно від **300 до 500** населених пунктів, оскільки саме там зосереджені міста й села, що пройшли через тривалу облогу, штурмові бої або фактично були перетворені на зону руїн без можливості верифікованого відновлення в українському правовому полі [24-32; 40]. Ці числа не є офіційною статистикою; **це аналітична оцінка** для наукової дискусії, що підлягає подальшій верифікації після формування державної методики аудиту життєздатності населених пунктів. Однак уже зараз вони достатньо переконливо показують масштаб проблеми: йдеться не про одиничні винятки, а про помітний масив територій, для яких стандартна відбудовча парадигма є недостатньою.

Нинішня законодавча модель ліквідації населеного пункту закріплена в Законі України «Про порядок вирішення окремих питань адміністративно-територіального устрою України». Частина шоста статті 5 цього Закону передбачає, що ліквідація населених пунктів здійснюється Кабінетом Міністрів України на підставі подання відповідної сільської, селищної, міської ради, Ради міністрів АРК або відповідної обласної

державної адміністрації. Ключова ж матеріальна умова сформульована в частині сьомій: населений пункт може бути ліквідований у разі **відсутності в ньому зареєстрованих (задекларованих) місць проживання фізичних осіб**, якщо з моменту зняття з реєстрації останньої особи минуло не менше трьох років; альтернативною підставою є включення всієї його території до складу іншого населеного пункту [42]. При цьому закон прямо встановлює, що **ліквідація населеного пункту не тягне припинення права власності і права користування об'єктами нерухомого майна**, розташованими в його межах [42].

Саме ця норма, з одного боку, є юридично правильною, а з іншого – демонструє повну неготовність чинної моделі до масових наслідків війни. Вона розрахована на класичні випадки природного знелюднення або адміністративного перепідпорядкування, а не на ситуації, коли поселення фізично зруйноване, економічно нежиттєздатне і небезпечне для проживання, але окремі особи все ще зберігають реєстрацію або повертаються туди епізодично. За таких умов трирічний критерій повної відсутності зареєстрованого місця проживання перетворюється на майже недосяжний юридичний бар'єр: поселення може бути де-факто мертвим, але де-юре продовжувати існувати необмежено довго. Більше того, навіть у разі ліквідації закон не дає відповіді на питання про зміну цільового призначення земель, долю приватних ділянок житлової та громадської забудови, консолідацію фрагментованих прав, вилучення руїн, рекультивацию, управління відходами руйнування та запобігання тривалій занедбаності території [8-12; 42].

Тому чинну процедуру слід оцінити як **формально наявну, але функціонально непридатну** для території незворотного воєнного руйнування. Вона потребує не просто технічного спрощення, а якісного оновлення. Водночас рішення про ліквідацію не може бути «автоматичним» у грубо механічному сенсі, оскільки це зачіпає права мешканців, власників, користувачів та спадкоємців. Реалістичною видається модель **квазіавтоматичного запуску процедури**, коли після досягнення встановлених законом кількісних порогів держава зобов'язана розпочати спеціальний аудит і ухвалити мотивоване рішення, але не може нескінченно відкладати його з політичних міркувань. До таких порогів можуть належати: 1) частка знищеного або непридатного житлового фонду; 2) частка знищеної критичної інфраструктури; 3) середня чисельність фактичного населення; 4) тривалість перебування в межах активних бойових дій; 5) відсутність затвердженого економічно обгрунтованого плану відновлення робочих місць; 6) висновок про неприйнятний безпековий ризик щільного проживання [3; 16; 33-42]. Інакше кажучи, має йтися не про політичну дискрецію, а про **зв'язану адміністративну процедуру на основі метрик**, але з повним збереженням права на участь, заперечення і судовий контроль.

Найбільша прогалина чинного регулювання полягає в тому, що ліквідація населеного пункту в адміністративно-територіальному сенсі **майже не має вбудованого земельно-майнового продовження**. І це логічно: стаття 5 Закону № 3285-IX лише фіксує, що ліквідація не припиняє прав на нерухомість [42]. Проте саме тут і по-

чинається власне землевпорядна проблема. Формально ліквідований населений пункт може містити сотні або тисячі як зареєстрованих земельних ділянок з кадастровими номерами, так і тих, права на які посвідчені лише паперовими правовстановлюючими документами, із різним цільовим призначенням, комунальними землями загального користування, землями житлової забудови, громадської забудови, господарськими дворами, залишками вулиць, сервітутами, орендними правами, суперфіціями, емфітевзисами, спадковими масами та об'єктами незавершеного будівництва [8-11]. Така територія не стає «вільною» лише тому, що населений пункт більше не фігурує в довідниках адміністративно-територіального устрою.

Саме тому автори пропонують для цих територій щастосовувати окремий термін – **грейфільди війни** (англ. war grayfields). На відміну від терміна brownfields, яким зазвичай позначають колишні промислові території, що потребують очищення та перепрофілювання, грейфільди війни – це **колишні поселенські території, незворотно пошкоджені війною і позбавлені реалістичної перспективи відновлення як місця постійного проживання**, але обтяжені множинністю чинних або потенційно відновлюваних речових прав. Слово «сірі» тут вказує не на промисловий характер ділянки, а на проміжний стан між поселенням і непоселенням, між де-юре збереженими правами та де-факто зруйнованою функцією території. Саме грейфільди війни становлять той новий клас земель, для якого українське законодавство поки що не має цілісного правового режиму.

З урахуванням статті 41 Конституції України, статті 1 Першого про-

токолу до Конвенції про захист прав людини і основоположних свобод, а також чинних норм земельного, цивільного та реєстраційного законодавства, правовий механізм конверсії таких територій повинен складатися не з одного акта, а з послідовності взаємопов'язаних стадій [7-12].

Першою стадією має бути **державний аудит життєздатності населеного пункту**. Це не інженерний, а інтегрований правово-просторовий висновок, що включає демографічні, безпекові, інфраструктурні, екологічні й економічні показники. Другою – **рішення про віднесення території до грейфїлдів війни і запуск спеціальної процедури**. Третьою – **суцільна інвентаризація земель і майна**: без такого перепису будь-яка подальша зміна режиму використання буде юридично вразливою. Четвертою стадією повинна бути **процедура виявлення власників, користувачів і спадкоємців**, включаючи електронне повідомлення, публічне оголошення, запити до реєстрів та фіксацію невстановлених осіб. П'ятою – **переважний добровільний викуп** за моделлю, наближеною до чинного Закону про відчуження майна для суспільних потреб [9]. Лише шостою, у разі недосягнення консолідації, може **виступати примусове відчуження з мотивів спеціально визначеної суспільної необхідності**, а саме – необхідності безпечної та екологічно належної конверсії території, що втратила функцію поселення.

Ключовою гарантією має бути компенсаційний механізм. Ідеться не про повне відшкодування воєнної шкоди в широкому розумінні, а про **компенсацію за припинення або трансформацію приватного права**. У цьому сенсі цілком можливим є ви-

користання логіки, близької до викупу для суспільних потреб: оцінка земельної ділянки, оцінка залишкового майнового інтересу у зруйнованій нерухомості, оцінка багаторічних насаджень і поліпшень, судовий перегляд у разі спору, а для невстановлених осіб – **депонування грошових сум на спеціальних рахунках до моменту заявлення права** [7; 9; 10]. Саме механізм депонування є критично важливим: без нього неможливо поєднати вимогу оперативної конверсії території з конвенційним стандартом захисту власності.

Після консолідації прав наступною стадією має стати **очищення території**, що охоплює гуманітарне розмінування, демонтаж аварійних залишків будівель, вилучення відходів руйнування, поводження з небезпечними матеріалами та первинну рекультивацию. Тут діє окремий економічний та організаційний режим, тісно пов'язаний з Національною стратегією протиміної діяльності та сучасною системою управління відходами [16; 43-46]. Лише після цього можливе **затвердження проєкту землеустрою щодо конверсії території** колишнього населеного пункту, який повинен стати новим видом документації із землеустрою для українського права.

Нижче подано узагальнену розроблену авторами класифікацію найбільш реалістичних напрямів використання територій колишніх населених пунктів після завершення процедур консолідації прав, очищення і рекультивации (табл. 1).

Джерельна база й сучасна структура витрат на відновлення України показують, що саме **змішана модель** у більшості випадків буде найбільш раціональною: суто аграрне використання рідко окупає всю конверсію,

## 1. Типологія напрямів використання територій колишніх населених пунктів

Напрямок використання	Юридична логіка	Типові просторові умови	Основні переваги	Основні обмеження
Рілля та інше польове землеробство	зміна цільового призначення на землі сільськогосподарського призначення; подальша оренда або емфітевізис	рівнинний рельєф, придатні ґрунти, низька фрагментація після консолідації	швидке повернення землі в економічний оборот; зрозумілий ринок користувачів	потребує повного розмінування; низька окупність самих витрат на конверсію лише за рахунок орендної плати
Багаторічні насадження, ягідництво, садівництво	аграрна конверсія з довшим інвестиційним циклом	ділянки з доброю інсоляцією, водозабезпеченням, під'їздом	вища додана вартість, ніж у ріллі	високі стартові інвестиції, ризик безпеки для довгострокових насаджень
Лісорозведення і захисні насадження	переведення в землі лісгосподарського призначення або землі природоохоронного призначення	деградовані, еродовані, складні для механізованого обробітку території	зменшення ерозії, екологічне відновлення, буферна функція	довгий горизонт ефекту; низька короткострокова монетизація
Природоохоронні та меморіальні ландшафти	спеціальний режим охорони, частково рекреаційний або меморіальний	території з високою символічною цінністю, складною екологічною ситуацією або похованнями	збереження пам'яті війни, невисокий технологічний тиск	обмежені джерела доходів, потреба у публічному фінансуванні
Розміщення сонячної енергетики	оренда/суперфічій під енергетичні об'єкти	великі очищені масиви, наявність технічної можливості підключення до мереж	вищий фінансовий потенціал порівняно з ріллею; придатно для частини деградованих ділянок	потребує безпечної прийнятності, капітальних вкладень і доступу до мереж
Склади, логістика, ремонтно-сервісні майданчики	промислово-логістичне репрофілювання	вузли доріг, залізниці, прикордонні або тилові, але не надто ризиковані території	вища орендна спроможність, робочі місця	далеко не для всіх колишніх сіл і селищ; чутливість до воєнного ризику
Видобувна чи інша природо-ресурсна функція	спеціальні дозволи на користування надрами та зміна землекористування	території, де економічна доцільність просторово прив'язана до місця	неможливість перенесення ресурсу в інший регіон	висока регуляторна складність, екологічні обмеження
Змішана модель	комбінація аграрного, лісгосподарського, енергетичного та меморіального режимів	великі території зі складною внутрішньою структурою	найреалістичніша для більшості кейсів	потребує складного планування та довгострокового оператора

Примітка: авторська розробка.

тоді як чисто меморіальний або природоохоронний режим не формує достатньої економічної основи для самопідтримки [3; 43-46].

Найбільш реалістичною інституційною формою видається спеціаль-

не державно-приватне партнерство, у межах якого за конкурсом визначається **оператор конверсії колишнього населеного пункту**. Його функції не повинні підміняти державу в питаннях владних рішень, але можуть

охоплювати фінансування викупу прав, організацію очищення, технічну підготовку території, укладення угод із новими землекористувачами та управління поверненим в оборот земельним масивом. По суті, йдеться про спеціалізованого консолідатора території, який працює на межі земельного, майнового, інвестиційного та екологічного регулювання.

Нижче наведено **ілюстративну** модель собівартості трансформації типового повністю зруйнованого села на підконтрольній території (табл. 2). Це не кошторис конкретного проекту, а авторська аналітична модель для розуміння порядку величин. Вихідні припущення такі: територія в межах колишнього населеного пункту – **100 га**; довоєнна житлова та громадська забудова – **близько 320 садиб/об'єктів**; ступінь руйнування – понад

**85 %**; після консолідації придатними до нового використання є **85 га**, решта припадає на дороги, водні об'єкти, меморіальні та буферні площі. Орієнтир для гуманітарного розмінування взято з фактичних видатків державної програми 2025 р.: 713 млн грн на понад 12 тис. га, тобто приблизно 59 тис. грн/га; близький порядок величин подають і профільні галузеві оцінки – 40-70 тис. грн/га [43; 47; 48]. Для управління відходами та демонтажу використано національний орієнтир RDNA/UNDP щодо майже 13 млрд дол. США потреб на розчищення й управління уламками в масштабі країни як базу для обережної локальної екстраполяції [44; 45].

Ця модель дає принциповий висновок: **чисто аграрне повторне використання не може самостійно окупити повну вартість конверсії**

## 2. Ілюстративна модель собівартості трансформації типового повністю зруйнованого села на підконтрольній території

Стаття витрат	Розрахункова база	Орієнтовна вартість, млн грн
Інвентаризація земель, майна, меж, реєстрова верифікація	100 га + 320 об'єктів + масив прав	1,8
Пошук власників, спадкоємців, адміністрування процедур, оцінка, нотаріальні та судові витрати	пакетна процедура	2,5
Викуп/компенсація прав на землю та залишкового майнового інтересу в зруйнованих об'єктах*	модельна середня величина	18,0
Нетехнічне обстеження та гуманітарне розмінування	100 га × 0,059 млн грн/га	5,9
Демонтаж аварійних конструкцій, сортування та вивезення уламків	320 об'єктів × середня модельна вартість	22,0
Первинна рекультивация, планування рельєфу, відновлення під'їздів, дренаж	100 га	4,2
Підготовка проекту землеустрою конверсії, нове зонування, формування лотів	пакетна процедура	1,6
Резерв на невизначеність (приблизно 10 %)		5,6
Разом		61,6

\* Примітка: у цій моделі компенсація не є репараційним відшкодуванням повної воєнної шкоди; це орієнтовний ресурс, потрібний для припинення або трансформації приватних прав з метою конверсії території.

типового повністю зруйнованого села. Якщо орієнтуватися на середні показники орендної плати за комунальні сільськогосподарські землі на аукціонах «Прозорро.Продажі» на рівні близько 9,3 тис. грн/га або на вищі показники державного земельного банку у 2025 р. – близько 17,1 тис. грн/га, то при 85 га придатної площі річний валовий орендний дохід становитиме приблизно від **0,79 до 1,45 млн грн на рік** [49; 50]. За такої доходності повна окупність лише за рахунок сільськогосподарської оренди була б надто тривалою. Саме тому для більшості грейфлдів війни економічно обґрунтованою є **багато-канална модель**: державне або донорське покриття суспільно необхідних, але комерційно неповоротних витрат (розмінування, розчищення, частина рекультивациі) + приватний оператор, який повертає вкладення на довшому горизонті через оренду, енергетичні проекти, логістичні майданчики, лісгосподарські й аграрні користування, а також через приріст

вартості підготовленої території. Для порівняння можливих сценаріїв майбутнього використання типової території колишнього села доцільно подати орієнтовну модель вигід (табл. 3).

Отже, економічна логіка конверсії таких територій не може будуватися на наївному очікуванні, що ринок сам компенсує наслідки війни. Реалістичною є лише **гібридна фінансова архітектура**, в якій правова консолідація території, розмінування та первинне очищення мають публічне або донорське ядро, а повторне введення в оборот – приватно-операторський компонент.

### Висновки

Проведене дослідження дає підстави стверджувати, що землі зруйнованих населених пунктів в Україні формують новий, раніше фактично не концептуалізований у вітчизняній земельно-правовій і землевпорядній науці об'єкт регулювання. Його специфіка полягає в тому, що воєнне

### 3. Ілюстративна порівняльна модель сценаріїв майбутнього використання типового повністю зруйнованого села на підконтрольній території

Сценарій після конверсії	Придатна площа	Орієнтовний щорічний дохід/економічний ефект	Коментар
Суто аграрна оренда	85 га	0,8-1,5 млн грн/рік	економічно слабкий сценарій, але найпростіший
Аграрно-лісгосподарська змішана модель	60 га ріллі + 25 га захисних насаджень	0,6-1,1 млн грн/рік + довгостроковий екологічний ефект	доцільна для деградованих територій
Аграрно-енергетична модель	45 га ріллі + частина площі під сонячну генерацію	суттєво вищий потенціал, ніж у суто аграрного сценарію	потребує окремого інвестора та мережевої спроможності
Логістично-аграрна модель	обмежена частина під склади/сервіс + решта рілля	залежить від транспортного положення, але може стати єдиним реально окупним сценарієм	придатна лише для окремих локацій
Меморіально-природоохоронна модель	переважно неприбуткова	суспільна, а не ринкова вигода	потребує бюджетного або грантового фінансування

руйнування не скасовує приватних і публічних речових прав, не ліквідує автоматично земельну структуру території та не створює юридично «вільного простору» для нового планування, тоді як частина поселень унаслідок поєднання безпекових, демографічних, економічних та інфраструктурних чинників об'єктивно втрачає або вже втратила перспективу відновлення як повноцінне середовище постійного проживання. Отже, для України принциповим є відхід від універсалізації відбудовчої парадигми, за якої кожне зруйноване поселення апіорно розглядається як об'єкт реконструкції, і перехід до більш диференційованої моделі, в межах якої поряд із відбудовою має бути визнано легітимність іншого сценарію – правомірної землевпорядної конверсії територій, що втратили поселенську життєздатність. У цьому контексті запропоновані в статті категорії «смуга поселенської дезінтеграції» та «грейфільди війни» мають не лише описове, а й прикладне значення, оскільки дозволяють перевести дискусію з площини загальної риторики відновлення у площину спеціального правового режиму, просторових критеріїв і управлінських рішень.

Водночас дослідження показало, що чинне законодавство України не забезпечує належного нормативного інструментарію для роботи з територіями, які фактично перестають бути населеними пунктами, але продовжують існувати як масиви роздроблених земельних і майнових прав. Нинішня процедура ліквідації населеного пункту, побудована навколо формального критерію повної відсутності зареєстрованого населення протягом певного часу, є придатною для випадків природного знелюднення, але не

відповідає викликам масового воєнного руйнування. Саме тому в статті обґрунтовано доцільність переходу до зв'язаної адміністративної процедури, що запускала б на основі чітко визначених кількісних і якісних метрик життєздатності поселення, але водночас залишалася б сумісною з конституційними гарантіями права власності, стандартами Європейської конвенції з прав людини, принципами належної компенсації та судового контролю. Запропонований алгоритм – аудит життєздатності, спеціальна класифікація території, інвентаризація прав, виявлення власників, добровільний викуп, за потреби примусове відчуження з мотивів суспільної необхідності, депонування компенсації, очищення, рекультивация і нове функціональне використання – дозволяє вперше вибудувати послідовну модель переходу від «зруйнованого поселення» до «юридично й економічно керованої постпоселенської території». Не менш важливим є й висновок про те, що чисто ринковий сценарій трансформації таких земель у більшості випадків є економічно нереалістичним, а тому найбільш обґрунтованою постає гібридна модель із поєднанням публічного, донорського та приватно-операторського компонентів фінансування.

Перспективи подальших досліджень полягають насамперед у переході від концептуального рівня до рівня методик, реєстрів і нормативного проектування. По-перше, потребує окремого розроблення державна методика аудиту життєздатності населених пунктів, яка б дозволяла верифіковано і відтворювано визначати межу між територіями, що підлягають відбудові, та територіями, для яких більш раціонально є

конверсія. По-друге, необхідні прикладні кадастрові та геоінформаційні дослідження на рівні конкретних кейсів повністю або майже повністю зруйнованих сіл і селищ для встановлення фактичної структури прав, типів землекористування, фрагментації ділянок і варіантів їх подальшої консолідації. По-третє, окремого поглибленого опрацювання потребують питання методики компенсації, правового режиму невстановлених власників і спадкоємців, співвідношення конверсії з механізмами відшкодування воєнної шкоди, а також розроблення модельного законодавчого акта про землі незворотно зруйнованих населених пунктів. Нарешті, важливим напрямом подальших досліджень має стати деталізація економіки постпоселенських територій – з урахуванням різних сценаріїв аграрного, лісогосподарського, енергетичного, логістичного, природоохоронного й меморіального використання – для того, щоб запропонована в статті концепція могла бути трансформована у повноцінний інструмент державної земельної політики повоєнної України.

---

#### **Список використаної літератури**

1. Definition: Build back better // United Nations Office for Disaster Risk Reduction (UNDRR). URL: <https://www.undrr.org/terminology/build-back-better> (дата звернення: 15.03.2026).
2. What is the Sendai Framework for Disaster Risk Reduction? // United Nations Office for Disaster Risk Reduction (UNDRR). URL: <https://www.undrr.org/implementing-sendai-framework/what-sendai-framework> (дата звернення: 15.03.2026).
3. Ukraine Rapid Damage and Needs Assessment 5 (RDNA5), February 2022–December 2025 / World Bank Group, Government of Ukraine, European Union, United Nations. 2026. URL: <https://documents1.worldbank.org/curated/en/099022026094036395/pdf/P514499-22f93f3a-4278-42bc-b907-db9553d12069.pdf> (дата звернення: 15.03.2026).
4. Ukraine – Internal Displacement Report – General Population Survey Round 22 (January 2026) // International Organization for Migration (IOM), Displacement Tracking Matrix. URL: <https://dtm.iom.int/reports/ukraine-internal-displacement-report-general-population-survey-round-22-january-2026> (дата звернення: 15.03.2026).
5. Ukraine Refugee Situation – Operational Data Portal // UNHCR. URL: <https://www.unhcr.org/ua/en/overview> ; <https://data.unhcr.org/en/working-group/437> (дата звернення: 15.03.2026).
6. Ukraine emergency // UNHCR. URL: <https://www.unhcr.org/emergencies/ukraine-emergency> (дата звернення: 15.03.2026).
7. Конституція України : Закон України від 28.06.1996 № 254к/96-ВР // База даних «Законодавство України» / Верховна Рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/254%D0%BA/96-%D0%B2%D1%80> (дата звернення: 15.03.2026).
8. Земельний кодекс України : Кодекс України від 25.10.2001 № 2768-III // База даних «Законодавство України» / Верховна Рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/2768-14> (дата звернення: 15.03.2026).
9. Про відчуження земельних ділянок, інших об'єктів нерухомого майна, що на них розміщені, які перебувають у приватній власності, для суспільних потреб чи з мотивів суспільної необхідності : Закон України від 17.11.2009 № 1559-VI // База даних «Законодавство України» / Верховна Рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/1559-17> (дата звернення: 15.03.2026).

10. Цивільний кодекс України : Кодекс України від 16.01.2003 № 435-IV // База даних «Законодавство України» / Верховна Рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/435-15> (дата звернення: 15.03.2026).
11. Про державну реєстрацію речових прав на нерухоме майно та їх обтяжень : Закон України від 01.07.2004 № 1952-IV // База даних «Законодавство України» / Верховна Рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/1952-15> (дата звернення: 15.03.2026).
12. Про компенсацію за пошкодження та знищення окремих категорій об'єктів нерухомого майна внаслідок бойових дій, терористичних актів, диверсій, спричинених збройною агресією Російської Федерації проти України, та Державний реєстр майна, пошкодженого та знищеного внаслідок бойових дій, терористичних актів, диверсій, спричинених збройною агресією Російської Федерації проти України : Закон України від 23.02.2023 № 2923-IX // База даних «Законодавство України» / Верховна Рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/2923-20> (дата звернення: 15.03.2026).
13. Про правовий режим території, що зазнала радіоактивного забруднення внаслідок Чорнобильської катастрофи : Закон України від 27.02.1991 № 791а-XII // База даних «Законодавство України» / Верховна Рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/791%D0%B0-12> (дата звернення: 15.03.2026).
14. Про статус і соціальний захист громадян, які постраждали внаслідок Чорнобильської катастрофи : Закон України від 28.02.1991 № 796-XII // База даних «Законодавство України» / Верховна Рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/796-12> (дата звернення: 15.03.2026).
15. Про правовий режим території, що зазнала радіоактивного забруднення внаслідок Чорнобильської катастрофи : Закон України від 27.02.1991 № 791а-XII // База даних «Законодавство України» / Верховна Рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/2532-12> (дата звернення: 15.03.2026).
16. Ukraine Rapid Damage and Needs Assessment 5 (RDNA5): explosive hazards management and cross-sector impacts / World Bank Group, Government of Ukraine, European Union, United Nations. 2026. URL: <https://documents1.worldbank.org/curated/en/099022026094036395/pdf/P514499-22f93f3a-4278-42bc-b907-db9553d12069.pdf> (дата звернення: 15.03.2026).
17. Про схвалення Національної стратегії протиміної діяльності на період до 2033 року та затвердження операційного плану заходів з її реалізації у 2024–2026 роках : розпорядження Кабінету Міністрів України від 28.06.2024 № 616-р // База даних «Законодавство України» / Верховна Рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/616-2024-%D1%80> (дата звернення: 15.03.2026).
18. Malchykova D. S., Pylypenko I. O., Ostapenko P. O. et al. Spatial and Human Challenges of Recovery the De-Occupied Territories of Kherson Region. *Ukrainian Geographical Journal*. 2025. No. 2. P. 67–77. URL: <https://ukrgeojournal.org.ua/en/node/858> (дата звернення: 15.03.2026).
19. Berglöff E., Rashkovan V. Reconstructing and Reforming Ukraine. LSE Public Policy Review. 2023. Vol. 3, No. 1. Art. 18. DOI: 10.31389/lseppr.95.
20. Rebuilding Ukraine by Reinforcing Regional and Municipal Governance. Paris : OECD Publishing, 2022. DOI: 10.1787/63a6b479-en.
21. Kulyk K. Biophilic Design: The Path to the Restoration and Sustainable Future of Ukrainian Cities. *Architectural Studies*. 2024. Vol. 6, No. 2. P. 63–69. DOI: 10.23939/sa2024.02.063.
22. Mezhenha N., Mezhenha O., Nazarenko I. et al. Architectural and Urban Planning

- Aspects of City Renewal in Ukraine. *International Journal of Conservation Science*. 2024. Special Issue. URL: <https://doi.org/10.36868/ijcs.2024.si.19> (дата звернення: 15.03.2026).
23. Post-War Green Reconstruction of Ukraine: Processes, Stakeholders, Public Participation. *Policy paper*. Kyiv, 2024. URL: <https://rac.org.ua/wp-content/uploads/2024/05/racse-post-war-green-reconstruction-of-ukraine-eng.pdf> (дата звернення: 15.03.2026).
24. Roadmap for the Sustainable Recovery of Ukraine. Build Ukraine Back Better Platform, 2025. URL: [https://en.ecoaction.org.ua/wp-content/uploads/2025/07/Roadmap\\_Sustainable\\_Recovery\\_Ukraine\\_2025-en-s.pdf](https://en.ecoaction.org.ua/wp-content/uploads/2025/07/Roadmap_Sustainable_Recovery_Ukraine_2025-en-s.pdf) (дата звернення: 15.03.2026).
25. Zaluzhnyi: I need people, ammunition, weapons to continue fighting // Ukrinform. 26 Dec. 2023. URL: <https://www.ukrinform.net/rubric-ato/3805262-zaluzhnyi-i-need-people-ammunition-weapons-to-continue-fighting.html> (дата звернення: 15.03.2026).
26. Dysa Y. Ukraine's constitution and territory: could Kyiv hand over land to Russia? // Reuters. 18 Aug. 2025. URL: <https://www.reuters.com/world/europe/what-does-ukraines-constitution-say-about-territorial-changes-2025-08-18/> (дата звернення: 15.03.2026).
27. Key challenging sectors: the current situation and expert assessments // Ukrinform. 05 Dec. 2025. URL: <https://www.ukrinform.net/rubric-ato/4066276-key-challenging-sectors-the-current-situation-and-expert-assessments.html> (дата звернення: 15.03.2026).
28. Combat situation on Vovchansk front remains highly tense // Ukrainska Pravda. 17 Nov. 2025. URL: <https://www.pravda.com.ua/eng/news/2025/11/17/8007659/> (дата звернення: 15.03.2026).
29. Ukrainian Villagers Return to the Town “Where God Was Born” to Find Widespread Destruction // RFE/RL. 21 Dec. 2022. URL: <https://www.rferl.org/a/ukrainian-villagers-return-bohorodychne-destruction/32186976.html> (дата звернення: 15.03.2026).
30. Wastelands: The Ukrainian Settlements Wiped Out By Invasion // RFE/RL. 24 Jan. 2024. URL: <https://www.rferl.org/a/ukraine-russia-invasion-destroyed-cities-photos-before-after/32788339.html> (дата звернення: 15.03.2026).
31. Додому завжди хочеться: зруйноване, але рідне. Історія повернення у деокуповане село Донецької області // Суспільне Донбас. 03.06.2024. URL: <https://suspilne.media/donbas/757531-dodomu-zavzdi-hocetsa-zrujnovane-ale-ridne-istoria-povernenna-u-deokupovane-selo-doneckoi-oblasti/> (дата звернення: 15.03.2026).
32. Ukraine's frontline cities filled with dread and defiance // Reuters. 01 Oct. 2025. URL: <https://www.reuters.com/world/ukraine-russia-war/ukraines-frontline-cities-filled-with-dread-defiance-2025-10-01/> (дата звернення: 15.03.2026).
33. Russian lives for Ukrainian lands // Reuters Graphics. 23 Feb. 2026. URL: <https://www.reuters.com/graphics/UKRAINE-CRISIS/CASUALTIES/lgvdgmjzbpo/> (дата звернення: 15.03.2026).
34. Just 10 km from frontline in Donetsk region, nearly 1,500 children require evacuation – administration // Ukrinform. 15 Aug. 2024. URL: <https://www.ukrinform.net/rubric-society/3895318-just-10-km-from-frontline-in-donetsk-region-nearly-1500-children-require-evacuation-administration.html> (дата звернення: 15.03.2026).
35. In Donetsk region, mandatory evacuation of families with children from 15-km frontline zone may be announced next week // Interfax-Ukraine. 26 Mar. 2025.

- URL: <https://en.interfax.com.ua/news/general/1058945.html> (дата звернення: 15.03.2026).
36. Житло у прифронтових сільських і селищних громадах // Cedos. 31.03.2025. URL: <https://cedos.org.ua/researches/zhytlo-u-pryfrontovyh-silskyh-i-selyshhnyh-gromadah/> (дата звернення: 15.03.2026).
37. Соціальний захист у прифронтових сільських і селищних громадах // Cedos. 31.03.2025. URL: <https://cedos.org.ua/researches/soczialnyj-zahyst-u-pryfrontovyh-silskyh-i-selyshhnyh-gromadah/> (дата звернення: 15.03.2026).
38. The war reaches our door // UNICEF Ukraine. 19 Aug. 2025. URL: <https://www.unicef.org/ukraine/en/stories/the-war-reaches-our-door> (дата звернення: 15.03.2026).
39. Ukraine Humanitarian Needs and Response Plan 2025 / UNOCHA, UNHCR, humanitarian partners. 2025. URL: [https://www.unhcr.org/ua/sites/ua/files/2025-01/Ukraine%20HNRP%202025%20Humanitarian%20Needs%20and%20Response%20Plan%20EN\\_0.pdf](https://www.unhcr.org/ua/sites/ua/files/2025-01/Ukraine%20HNRP%202025%20Humanitarian%20Needs%20and%20Response%20Plan%20EN_0.pdf) (дата звернення: 15.03.2026).
40. OHCHR Report on the Human Rights Situation in Ukraine, 1 June – 30 November 2025 / Office of the United Nations High Commissioner for Human Rights. 09 Dec. 2025. URL: <https://ukraine.ohchr.org/sites/default/files/2025-12/2025-12-09%20OHCHR%2043rd%20periodic%20report%20on%20Ukraine%20ENG.pdf> (дата звернення: 15.03.2026).
41. Про затвердження Переліку територій, на яких ведуться (велися) бойові дії або тимчасово окупованих Російською Федерацією : наказ Міністерства розвитку громад та територій України від 28.02.2025 № 376 // База даних «Законодавство України» / Верховна Рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/z0380-25> (дата звернення: 15.03.2026).
42. Громади зможуть самостійно ініціювати включення населеного пункту до Переліку територій, на яких ведуться (велися) бойові дії або які є тимчасово окупованими // Міністерство розвитку громад та територій України. 29.01.2026. URL: <https://mindev.gov.ua/news/hromady-zmozht-samostiino-initsiiuvaty-vkliuchennia-naselenoho-punktu-do-pereliku-terytorii-na-iakykh-vedutsia-velysia-boiovi-dii-abo-iaki-ie-tymchasovo-okupovanymu> (дата звернення: 15.03.2026).
43. Про порядок вирішення окремих питань адміністративно-територіального устрою України : Закон України від 28.07.2023 № 3285-IX // База даних «Законодавство України» / Верховна Рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/3285-20> (дата звернення: 15.03.2026).
44. Від реагування до системного розвитку: результати роботи у 2025 році // Центр гуманітарного розмінювання. 31.12.2025. URL: <https://uachd.gov.ua/vid-reaguvannya-do-sistemnogo-rozvitku-rezultati-roboti-u-2025-roci/> (дата звернення: 15.03.2026).
45. Оновлена оцінка потреб України на відновлення та відбудову // Світовий банк. 25.02.2025. URL: <https://www.worldbank.org/uk/news/press-release/2025/02/25/updated-ukraine-recovery-and-reconstruction-needs-assessment-released> (дата звернення: 15.03.2026).
46. UNDP launches major debris removal initiative in Ukraine to accelerate recovery // United Nations Development Programme in Ukraine. 26 Feb. 2025. URL: <https://www.undp.org/ukraine/press-releases/undp-launches-major-debris-removal-initiative-ukraine-accelerate-recovery> (дата звернення: 15.03.2026).
47. Уряд затвердив порядок виконання цільових показників щодо підготовки відходів будівництва і знесення до повторного використання, рециклінгу та інших операцій з відновлення матеріалів

- // Кабінет Міністрів України. 05.02.2026. URL: <https://www.kmu.gov.ua/news/uriad-zatverdvyv-poriadok-vykonannia-tsilovykh-rokaznykiv-z-povtorno-ho-vykorystannia-ta-retskylinhu-budivelnykh-vidkhodiv> (дата звернення: 15.03.2026).
48. Гуманітарне розмінування України: проблема на 30 років // Українська енергетика. 18.01.2025. URL: <https://ua-energy.org/uk/posts/humanitarne-rozminuvannia-ukrainy-problema-na-30-rokiv> (дата звернення: 15.03.2026).
49. Розмінування агроземель: за рік відновили використання понад 12 тис. га // Latifundist.com. 30.12.2025. URL: <https://latifundist.com/novosti/69185-rozminuvannya-agrozemel-2025-za-rik-vidnovili-vikoristannya-ponad-12-tis-ga> (дата звернення: 15.03.2026).
50. Land Market Review Ukraine // Kyiv School of Economics. June 2025. URL: <https://kse.ua/wp-content/uploads/2025/06/dodatok-2.pdf> (дата звернення: 15.03.2026).
51. Over 57,000 hectares of state agricultural land leased via online auctions in 2025 // Mezha / State Land Bank statement. 01 Jan. 2026. URL: <https://mezha.net/eng/bukvy/over-57-000-hectares-of-state-agricultural-land-leased-via-online-auctions-in-2025/> (дата звернення: 15.03.2026).
52. Комплексно відновлюємо Посад-Покровське на Херсонщині // Державне агентство відновлення та розвитку інфраструктури України. 04.09.2025. URL: <https://restoration.gov.ua/blog/kompleksno-vidnovlyuyemo-posad-pokrovske-na-hersonshyni/> (дата звернення: 15.03.2026).
2. United Nations Office for Disaster Risk Reduction (UNDRR). (n.d.). What is the Sendai Framework for Disaster Risk Reduction? Available at: <https://www.undrr.org/implementing-sendai-framework/what-sendai-framework>
3. World Bank Group, Government of Ukraine, European Union, & United Nations. (2026). Ukraine Rapid Damage and Needs Assessment 5 (RDNA5), February 2022–December 2025. Available at: <https://documents1.worldbank.org/curated/en/099022026094036395/pdf/P514499-22f93f3a-4278-42bc-b907-db9553d12069.pdf>
4. International Organization for Migration (IOM). (2026). Ukraine internal displacement report: General population survey round 22 (January 2026). Available at: <https://dtm.iom.int/reports/ukraine-internal-displacement-report-general-population-survey-round-22-january-2026>
5. United Nations High Commissioner for Refugees (UNHCR). (n.d.). Ukraine refugee situation – Operational data portal. Available at: <https://www.unhcr.org/ua/en/overview>; <https://data.unhcr.org/en/working-group/437>
6. United Nations High Commissioner for Refugees (UNHCR). (n.d.). Ukraine emergency. Available at: <https://www.unhcr.org/emergencies/ukraine-emergency>
7. Verkhovna Rada of Ukraine. (1996). Konstytutsiia Ukrainy: Zakon Ukrainy vid 28 chervnia 1996 roku No. 254k/96-VR [Constitution of Ukraine]. Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/go/254%D0%BA/96-%D0%B2%D1%80>
8. Verkhovna Rada of Ukraine. (2001). Zemelnyi kodeks Ukrainy: Kodeks Ukrainy vid 25 zhovtnia 2001 roku No. 2768-III [Land Code of Ukraine]. Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/go/2768-14>
9. Verkhovna Rada of Ukraine. (2009). Pro vidchuzhennia zemelnykh dilianok, inshykh ob'ektiv nerukhomogo maina, shcho

---

### References

1. United Nations Office for Disaster Risk Reduction (UNDRR). (n.d.). Build back better. Available at: <https://www.undrr.org/terminology/build-back-better>

- na nykh rozmishcheni, yaki perebuvaiut u pryvatnii vlasnosti, dlia suspilnykh potreb chy z motiviv suspilnoi neobkhdnosti: Zakon Ukrainy vid 17 lystopada 2009 roku No. 1559-VI [On expropriation of land plots and other immovable property objects for public needs or reasons of public necessity]. Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/go/1559-17>
10. Verkhovna Rada of Ukraine. (2003). Tsyvilnyi kodeks Ukrainy: Kodeks Ukrainy vid 16 sichnia 2003 roku No. 435-IV [Civil Code of Ukraine]. Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/go/435-15>
  11. Verkhovna Rada of Ukraine. (2004). Pro derzhavnu reiestratsiiu rechovykh prav na nerukhome maino ta yikh obtiazhen: Zakon Ukrainy vid 1 lypnia 2004 roku No. 1952-IV [On state registration of property rights to immovable property and their encumbrances]. Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/go/1952-15>
  12. Verkhovna Rada of Ukraine. (2023). Pro kompensatsiiu za poshkodzhennia ta znyshchennia okremykh katehorii obiektiv nerukhomogo maina vnaslidok boiovykh dii, terorystychnykh aktiv, dyversii, sprychynenykh zbroinoiu ahresiieiu Rosiiskoi Federatsii proty Ukrainy, ta Derzhavnyi reiestr maina, poshkodzhеноho ta znyshchenoho...: Zakon Ukrainy vid 23 liutoho 2023 roku No. 2923-IX [On compensation for damaged and destroyed real estate due to armed aggression]. Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/go/2923-20>
  13. Verkhovna Rada of Ukraine. (1991). Pro pravovyi rezhym terytorii, shcho zaznala radioaktyvnoho zabrudnennia vnaslidok Chornobylskoi katastrofy: Zakon Ukrainy vid 27 liutoho 1991 roku No. 791a-XII [On the legal regime of territories contaminated as a result of the Chornobyl disaster]. Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/go/791%D0%B0-12>
  14. Verkhovna Rada of Ukraine. (1991). Pro status i sotsialnyi zakhyst hromadian, yaki postrazhdaly vnaslidok Chornobylskoi katastrofy: Zakon Ukrainy vid 28 liutoho 1991 roku No. 796-XII [On the status and social protection of citizens affected by the Chornobyl disaster]. Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/go/796-12>
  15. Verkhovna Rada of Ukraine. (1991). Pro pravovyi rezhym terytorii... (terminolohiia zon): Zakon Ukrainy vid 27 liutoho 1991 roku No. 2532-XII [On zoning terminology of contaminated territories]. Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/go/2532-12>
  16. World Bank Group, Government of Ukraine, European Union, & United Nations. (2026). Ukraine Rapid Damage and Needs Assessment 5 (RDNA5): Explosive hazards management and cross-sector impacts. Available at: <https://documents1.worldbank.org/curated/en/099022026094036395/pdf/P514499-22f93f3a-4278-42bc-b907-db9553d12069.pdf>
  17. Cabinet of Ministers of Ukraine. (2024). Pro skhvalennia Natsionalnoi stratehii protymynnoi diialnosti na period do 2033 roku ta zatverdzhennia operatsiinoho planu zakhodiv z yii realizatsii u 2024–2026 rokakh: Rozporiadzhennia vid 28 chervnia 2024 roku No. 616-r [On approval of the National Mine Action Strategy until 2033 and the operational plan for its implementation in 2024–2026]. Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/go/616-2024-%D1%80>
  18. Malchykova, D. S., Pylypenko, I. O., Ostapenko, P. O., et al. (2025). Spatial and human challenges of recovery of the de-occupied territories of Kherson region. *Ukrainian Geographical Journal*, (2), 67–77. Available at: <https://ukrgeojournal.org.ua/en/node/858>
  19. Berglöff, E., & Rashkovan, V. (2023). Reconstructing and reforming Ukraine. *LSE Public Policy Review*, 3(1), Article 18. <https://doi.org/10.31389/lseppr.95>
  20. Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD). (2022). Rebuilding Ukraine by reinforcing re-

- gional and municipal governance. Paris: OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/63a6b479-en>
21. Kulyk, K. (2024). Biophilic design: The path to the restoration and sustainable future of Ukrainian cities. *Architectural Studies*, 6(2), 63–69. <https://doi.org/10.23939/sa2024.02.063>
  22. Mezhenha, N., Mezhenha, O., Nazarenko, I., et al. (2024). Architectural and urban planning aspects of city renewal in Ukraine. *International Journal of Conservation Science*, Special Issue. <https://doi.org/10.36868/ijcs.2024.si.19>
  23. NGO “Resource and Analysis Center ‘Society and Environment’”. (2024). Post-war green reconstruction of Ukraine: Processes, stakeholders, public participation (Policy paper). Kyiv. Available at: <https://rac.org.ua/wp-content/uploads/2024/05/racse-post-war-green-reconstruction-of-ukraine-eng.pdf>
  24. Ecoaction. (2025). Roadmap for the sustainable recovery of Ukraine. Build Ukraine Back Better Platform. Available at: [https://en.ecoaction.org.ua/wp-content/uploads/2025/07/Roadmap\\_Sustainable\\_Recovery\\_Ukraine\\_2025-en-s.pdf](https://en.ecoaction.org.ua/wp-content/uploads/2025/07/Roadmap_Sustainable_Recovery_Ukraine_2025-en-s.pdf)
  25. Ukrinform. (2023, December 26). Zalzuzhnyi: I need people, ammunition, weapons to continue fighting. Available at: <https://www.ukrinform.net/rubric-ato/3805262-zaluzhnyi-i-need-people-ammunition-weapons-to-continue-fighting.html>
  26. Dysa, Y. (2025, August 18). Ukraine’s constitution and territory: Could Kyiv hand over land to Russia? Reuters. Available at: <https://www.reuters.com/world/europe/what-does-ukraines-constitution-say-about-territorial-changes-2025-08-18/>
  27. Ukrinform. (2025, December 5). Key challenging sectors: The current situation and expert assessments. Available at: <https://www.ukrinform.net/rubric-ato/4066276-key-challenging-sectors-the-current-situation-and-expert-assessments.html>
  28. Ukrainska Pravda. (2025, November 17). Combat situation on Vovchansk front remains highly tense. Available at: <https://www.pravda.com.ua/eng/news/2025/11/17/8007659/>
  29. Radio Free Europe/Radio Liberty (RFE/RL). (2022, December 21). Ukrainian villagers return to the town “where God was born” to find widespread destruction. Available at: <https://www.rferl.org/a/ukrainian-villagers-return-bohorodychne-destruction/32186976.html>
  30. Radio Free Europe/Radio Liberty (RFE/RL). (2024, January 24). Wastelands: The Ukrainian settlements wiped out by invasion. Available at: <https://www.rferl.org/a/ukraine-russia-invasion-destroyed-cities-photos-before-after/32788339.html>
  31. Suspilne Donbas. (2024, June 3). Dodomu zavzhdy khochetsia: zruinovane, ale ridne. Istoriiia povernennia u deokupovane selo Donetskoi oblasti [Home is always desired: Destroyed, yet native. The story of returning to a de-occupied village in Donetsk region]. Available at: <https://suspilne.media/donbas/757531-dodomu-zavzdi-hocetsa-zruinovane-ale-ridne-istoriia-povernenna-u-deokupovane-selo-donetskoi-oblasti/>
  32. Reuters. (2025, October 1). Ukraine’s frontline cities filled with dread and defiance. Available at: <https://www.reuters.com/world/ukraine-russia-war/ukraines-frontline-cities-filled-with-dread-defiance-2025-10-01/>
  33. Reuters Graphics. (2026, February 23). Russian lives for Ukrainian lands. Available at: <https://www.reuters.com/graphics/UKRAINE-CRISIS/CASUALTIES/lgvdgmjzbz-po/>
  34. Ukrinform. (2024, August 15). Just 10 km from frontline in Donetsk region, nearly 1,500 children require evacu-

- ation – administration. Available at: <https://www.ukrinform.net/rubric-society/3895318-just-10-km-from-front-line-in-donetsk-region-nearly-1500-children-require-evacuation-administration.html>
35. Interfax-Ukraine. (2025, March 26). In Donetsk region, mandatory evacuation of families with children from 15-km front-line zone may be announced next week. Available at: <https://en.interfax.com.ua/news/general/1058945.html>
36. Cedos. (2025, March 31). Zhytlo u pryfrontovyykh silskykh i selyshchynykh hromadakh [Housing in frontline rural and settlement communities]. Available at: <https://cedos.org.ua/researches/zhytlo-u-pryfrontovyykh-silskykh-i-selyshhnykh-gromadah/>
37. Cedos. (2025, March 31). Sotsialnyi zakhyst u pryfrontovyykh silskykh i selyshchynykh hromadakh [Social protection in frontline rural and settlement communities]. Available at: <https://cedos.org.ua/researches/soczialnyj-zahyst-u-pryfrontovyykh-silskykh-i-selyshhnykh-gromadah/>
38. UNICEF Ukraine. (2025, August 19). The war reaches our door. Available at: <https://www.unicef.org/ukraine/en/stories/the-war-reaches-our-door>
39. United Nations Office for the Coordination of Humanitarian Affairs (UNOCHA), United Nations High Commissioner for Refugees (UNHCR), & humanitarian partners. (2025). Ukraine humanitarian needs and response plan 2025. Available at: [https://www.unhcr.org/ua/sites/ua/files/2025-01/Ukraine%20HNRP%202025%20Humanitarian%20Needs%20and%20Response%20Plan%20EN\\_0.pdf](https://www.unhcr.org/ua/sites/ua/files/2025-01/Ukraine%20HNRP%202025%20Humanitarian%20Needs%20and%20Response%20Plan%20EN_0.pdf)
40. Office of the United Nations High Commissioner for Human Rights (OHCHR). (2025, December 9). Report on the human rights situation in Ukraine, 1 June – 30 November 2025. Available at: <https://ukraine.ohchr.org/sites/default/files/2025-12/2025-12-09%20OHCHR%2043rd%20periodic%20report%20on%20Ukraine%20ENG.pdf>
41. Ministry for Communities and Territories Development of Ukraine. (2025). Pro zatverdzhennia Pereliku terytorii, na yakykh vedutsia (velysia) boiovi dii abo tymchasovo okupovanykh Rosiiskoiu Federatsiiei: Nakaz vid 28 liutoho 2025 roku No. 376 [On approval of the list of territories where hostilities are (were) conducted or temporarily occupied]. Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/go/z0380-25>
42. Ministry for Communities and Territories Development of Ukraine. (2026, January 29). Hromady zmozhut samostiino initsiiuvaty vkluchennia naselenoho punktu do pereliku terytorii... [Communities will be able to independently initiate inclusion of settlements in the list of affected territories]. Available at: <https://mindev.gov.ua/news/hromady-zmozhut-samostiino-initsiiuvaty-vkliuchennia-naselenoho-punktu-do-pereliku-terytorii-na-iyakhy-vedutsia-velysia-boiovi-dii-abo-iaki-ie-tymchasovo-okupovanymy>
43. Verkhovna Rada of Ukraine. (2023). Pro poriadok vyrishennia okremykh pytan administratyvno-terytorialnoho ustroiu Ukrainy: Zakon Ukrainy vid 28 lypnia 2023 roku No. 3285-IX [On the procedure for resolving certain issues of the administrative-territorial system of Ukraine]. Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/go/3285-20>
44. Ukrainian Center for Humanitarian Demining. (2025, December 31). Vid reahuvannia do systemnoho rozvytku: rezultaty roboty u 2025 rotsi [From response to systemic development: Results of work in 2025]. Available at: <https://uachd.gov.ua/vid-reaguvannya-do-sistemnogo-rozvytku-rezultati-roboty-u-2025-roci/>
45. World Bank. (2025, February 25). Onovlena otsinka potreb Ukrainy na vidnovlennia ta vidbudovu [Updated Ukraine recovery and reconstruction needs assessment].

- Available at: <https://www.worldbank.org/uk/news/press-release/2025/02/25/updated-ukraine-recovery-and-reconstruction-needs-assessment-released>
46. United Nations Development Programme (UNDP) in Ukraine. (2025, February 26). UNDP launches major debris removal initiative in Ukraine to accelerate recovery. Available at: <https://www.undp.org/ukraine/press-releases/undp-launches-major-debris-removal-initiative-ukraine-accelerate-recovery>
  47. Cabinet of Ministers of Ukraine. (2026, February 5). Uriad zatverdyl poriadok vykonannya tsilovykh pokaznykiv shcho do pidhotovy vidkhodiv budivnytstva i znesennia... [Government approved procedures for achieving targets on construction and demolition waste recycling]. Available at: <https://www.kmu.gov.ua/news/uriad-zatverdyl-poriadok-vykonannya-tsilovykh-pokaznykiv-z-povtorno-ho-vykorystannia-ta-retsylinhu-budivnykh-vidkhodiv>
  48. Ukrainska Enerhetyka. (2025, January 18). Humanitarne rozminuvannia Ukrainy: problema na 30 rokiv [Humanitarian demining in Ukraine: A 30-year problem]. Available at: <https://ua-energy.org/uk/posts/humanitarne-rozminuvannia-ukrainy-problema-na-30-rokiv>
  49. Latifundist.com. (2025, December 30). Rozminuvannia ahrozemel: za rik vidnovly vykorystannia ponad 12 tys. ha [Demining of agricultural land: Over 12,000 hectares restored in a year]. Available at: <https://latifundist.com/novosti/69185-rozminuvannia-agrozemel-2025-za-rik-vidnovili-vikoristannia-ponad-12-tis-ga>
  50. Kyiv School of Economics. (2025, June). Land market review Ukraine. Available at: <https://kse.ua/wp-content/uploads/2025/06/dodatok-2.pdf>
  51. Mezha. (2026, January 1). Over 57,000 hectares of state agricultural land leased via online auctions in 2025. Available at: <https://mezha.net/eng/bukvy/over-57-000-hectares-of-state-agricultural-land-leased-via-online-auctions-in-2025/>
  52. State Agency for Restoration and Infrastructure Development of Ukraine. (2025, September 4). Kompleksno vidnovliuemo Posad-Pokrovske na Khersonshchyni [Comprehensive recovery of Posad-Pokrovske in Kherson region]. Available at: <https://restoration.gov.ua/blog/kompleksno-vidnovlyuyemo-posad-pokrovske-na-hersonshchyni/>

---

**Martyn A., Hunko L., Poltavets A., Chumachenko O.**

**LANDS OF DESTROYED SETTLEMENTS IN UKRAINE: LEGAL REGIME, LAND USE CONVERSION, AND THE ECONOMICS OF POST-SETTLEMENT TERRITORIES**

*LAND MANAGEMENT, CADASTRE AND LAND MONITORING 2'26: 44-71.*

<http://dx.doi.org/10.31548/zemleustriy2026.02.04>

**Abstract.** *The article examines the lands of destroyed settlements in Ukraine as a new object of land-law and land-use planning regulation emerging under the conditions of full-scale war and not reducible to the conventional issues of physical reconstruction. It is substantiated that the universalization of the “build back better” paradigm is methodologically insufficient for the Ukrainian context, since some destroyed cities, towns, and villages have objectively lost, or are likely to lose, the capacity to be restored as fully functioning settlements due to the combined impact of security-related, demographic, economic, and infrastructural factors. It is shown that war-related destruction does not transform the territory of a settlement into a legally free space: even under conditions of actual depopulation, such territory remains structured by a multiplicity of private and public real rights to land, immovable property, and other assets, which makes its spontaneous*

*transition to a new use impossible in the absence of a special legal mechanism. The purpose of the study is to develop an integral scientific and practical concept of the legal regime of the lands of destroyed settlements, to determine the criteria for their actual loss of settlement viability, to elaborate a legally sound algorithm for the land-use conversion of such territories, and to substantiate the institutional and economic model of their further use. The methodological basis of the study includes the analysis of Ukrainian normative legal acts, international programmatic and analytical documents, and official data on destruction, population displacement, and humanitarian demining. The working concepts of the “zone of settlement disintegration” and “war greyfields” are proposed to denote former settlement territories irreversibly damaged by war and deprived of a realistic prospect of restoration as places of permanent residence. The need for a special legal regime is substantiated; such a regime should combine an audit of settlement viability, inventory of land and property, identification of rights holders, voluntary buyout or compulsory acquisition with proper compensation, deposit of funds for unidentified persons, clearance, land reclamation, and subsequent change of the functional use of the territory. The practical value of the article lies in the formation of a conceptually and instrumentally coherent framework for the transition from a policy of reconstruction to a policy of lawful conversion of territories that have lost their settlement function, and for preventing their long-term spatial abandonment.*

**Keywords:** *lands of destroyed settlements; land use organization; legal regime of land; post-war recovery; war greyfields; settlement disintegration; consolidation of rights; compulsory acquisition; land reclamation; spatial planning; post-settlement territories.*

---

---

# SPATIO-TEMPORAL ECONOMIC PLANNING WEIGHTED ROUTING MODEL FOR AGRICULTURAL LAND-USE MANAGEMENT IN PERI-URBAN ZONES: A CASE STUDY OF KYIV AGGLOMERATION

---

V. NAZARENKO,

Associate Professor in the computer systems, networks, and cybersecurity  
department

E-mail: [volodnz@nubip.edu.ua](mailto:volodnz@nubip.edu.ua)

ORCID: 0000-0002-7433-2484

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine

**Abstract.** Ukraine's agricultural sector faces a compound set of economic and spatial pressures: peri-urban land-use transformation, disrupted logistics, volatile fuel costs, and restricted mobility in wartime conditions. These challenges are especially evident in the Kyiv agglomeration, where agricultural operations increasingly depend on rapid re-planning under changing constraints. This study presents and evaluates a weights-based real-time routing platform for digital agriculture in Ukraine, integrated into a FAIR/OGC-aligned middleware architecture that consolidates multi-source data streams (satellite EO, UAV imagery when permitted, IoT telemetry, road and congestion layers, and administrative-economic registers). The platform operationalizes routing as a continuous decision-support service by allowing users to tune explicit weights across four criteria: time, direct cost, CO<sub>2</sub>e, and operational risk, while enforcing land-use and safety restrictions through hard spatial masks and soft penalty layers.

Empirical testing was conducted over four pilot weeks in the peri-urban belt of Kyiv using a controlled-scenario design with three weekly templates: Baseline (A), Stress (B: high fuel prices and higher transport risk), and Sustainability-adjusted (C). The middleware maintained continuous advisory generation under intermittent UAV availability and short-lived network outages by employing store-and-forward edge buffers, asynchronous refresh, and lineage capture; exported route advisories were reproducible as CSV/GeoJSON with full provenance. Scenario results show strong sensitivity of weekly logistics costs to fuel-driven cost bands: compared with Scenario A, Scenario B increased direct logistics costs by 12.44%. In comparison, Scenario C increased costs by 6.22%. Tactical re-weighting protected time performance (approximately -1.15% total travel time in B and C). In comparison, feasibility remained high (≥95% of jobs served within service windows), and restricted-edge violations remained zero due

to enforced masks. CO<sub>2</sub>e totals remained stable across scenarios under uniform emission factors, highlighting the need for differentiated low-carbon corridors or fleet classes in future pilots.

The results indicate that a standards-based middleware platform combined with weight-based routing can serve as a practical tool for land-use governance and agricultural economics by linking spatial constraints, cost dynamics, and auditable sustainability indicators within a single operational workflow.

**Keywords:** digital agriculture, weight-based routing, middleware, UAV–IoT–satellite integration, peri-urban Kyiv, logistics costs, land-use change, FAIR/OGC interoperability, decision support, sustainability metrics.

---

## Introduction

Ukraine’s agricultural sector faces a compound set of economic and spatial pressures: rapid peri-urban land-use transformation, disrupted spatial logistics, volatile fuel costs, and restricted mobility under wartime conditions. These challenges are especially evident in the Kyiv agglomeration, where sustainable agricultural land management increasingly depends on rapid spatial re-planning. This study presents and evaluates a spatio-temporal routing framework with weighted indices, specifically designed for agricultural land use in Ukraine. The system is integrated into a FAIR/OGC-aligned middleware architecture that consolidates multi-source spatial data streams (satellite Earth Observation, UAV imagery, IoT telemetry, and land cadastre registers). The platform operationalizes routing as a continuous land-management decision-support service by allowing users to tune explicit weights across four criteria: time, direct cost, carbon emissions (CO<sub>2</sub>e), and spatial operational risk, while strictly enforcing land-use and safety restrictions through hard spatial masks.

This article advances a weights-based, real-time routing approach integrated into a FAIR/OGC-aligned

middleware architecture for digital agriculture in Ukraine. By “weights-based,” we mean an explicit, tunable multi-criteria scheme that optimizes routes and task assignments across four practical dimensions: time, direct cost, CO<sub>2</sub>-equivalent emissions, and operational risk, while respecting agronomic windows and infrastructure constraints. The middleware abstraction layer ensures that heterogeneous sources (UAV orthomosaics and vegetation indices, Sentinel-class products, in-field IoT telemetry, cadastral/land-use layers, traffic and fuel price feeds) can be discovered, linked, and consumed via interoperable services rather than bespoke pipelines. This architecture is intentionally modular – core system services can be deployed incrementally, allowing producers and local authorities to start small (e.g., with a single cooperative) and scale outward as data quality and institutional trust improve.

From the economics policy perspective, the need for such a platform is immediate. Transport and machinery utilization decisions now have outsized budget impacts due to price volatility and safety-related transportation re-routing. Each non-optimal kilometer increases costs and emissions; each missed field-processing timeline

(spraying or irrigation) erodes yield and resilience. A routing model that can absorb up-to-date costs (UAH/km bands derived from fuel prices and machine classes), reflect congestion or restricted zones, and internalize sustainability metrics offers a tractable path to near-term savings and verifiable environmental gains. Just as importantly, a shared, standards-compliant backbone makes output auditable for policy and certification regimes (e.g., SAFA dimensions, IPCC AFOLU categories, or Farm-to-Fork-aligned indicators), which is critical for market access and recovery programs.

From a land-use perspective, the peri-urban Kyiv area provides a solid foundation for study. The region exhibits rapid spatial change, mixed farm scales, and varied data availability due to operational constraints. We treat this not as a limitation but as a design requirement: the system must remain useful under non-optimal operational conditions (UAV restrictions, variable network connectivity, partial datasets) by rolling back system state to satellite and ground sensors data. Such systems must support caching of the recent states and scheduling asynchronous system and data updates. This resilience architecture principle is embedded in the middleware layer (event queues, metadata lineage, edge buffering) and the routing engine (risk-aware weighting and data rollback options), ensuring operational continuity and providing decision support even when high-resolution and live data are temporarily unavailable.

From the perspective of agricultural land administration, modern routing is no longer merely a transport logistics problem; it is a critical component of dynamic land-use governance. In peri-ur-

ban zones like the Kyiv agglomeration, agricultural plots are frequently fragmented by expanding residential infrastructure and temporary military exclusion zones. Consequently, any logistical framework must act as an extension of the spatial cadastre, ensuring that agricultural machinery movements strictly comply with dynamic land-use restrictions, environmental protection zones, and local safety regulations. Therefore, the primary aim of this study is to develop a routing optimization model that integrates these complex spatial land-use constraints into a cohesive, weight-based decision-support system.

### ***Analysis of recent research and publications***

Over the past decade, the digitalization of the agricultural sector has progressed from individual experimental solutions to complex digital platforms that combine remote sensing, sensor networks, decision-support models, and digital services to manage production processes. In the modern scientific literature, there are at least four interrelated areas that are directly relevant to the topic of this study: 1) digital and precision agriculture based on EO/UAV/IoT; 2) interoperability of data, services and digital platforms; 3) decision support systems and digital twins in Agriculture 4.0; 4) multi-criteria routing and green logistics in the face of spatial and resource constraints. Such a structure of the review is important, since the solution proposed by the authors in the article lies precisely at the intersection of these four areas and does not belong to any one of them.

The first direction concerns the development of precision agriculture and digital monitoring of agricultural pro-

duction. In the work of Awais et al. (2025), digital twins and Smart Farming Technologies are considered as means of transition from fragmented data collection to holistic, model-oriented management of agricultural systems. Similarly, Miller et al. (2025) note that modern IoT and AI solutions in the agricultural sector are no longer limited to individual sensors but now form integrated systems for "smart" monitoring of the production environment. In a conceptually important review by Zhai et al. (2020), decision support systems for Agriculture 4.0 are described as moving from simple monitoring to digitally managed manufacturing solutions. This means that modern research focuses less on fixing the state of the field and increasingly on transforming data into effective management actions.

A separate block of research is devoted to the role of UAVs and satellite Earth Observation in precision agriculture. Agrawal and Arafat (2024) analyze AI-powered UAV Technologies as a highly detailed information-collection tool for agricultural process management, while Guebsi et al. (2024) systematize the application of UAVs, relevant technologies, and their limitations in Precision Agriculture. These studies show that UAVs are especially valuable for local, high-precision diagnostics of crop conditions, detection of heterogeneities, and support for operational decisions at the plot level. At the same time, satellite sources ensure regularity, scalability, and sustainability of observation. That is why, in current research, there is a tendency to combine UAV and EO data, rather than to contrast them. For the subject of the article, this is fundamental, since routing in the conditions of studying the suburban area should consider both detailed local

observations and regular large-scale databases.

The second important area concerns digital twins, integrated sensor ecosystems, and the transition to data suitable for automated scheduling. Aich et al. (2022) define Digital Twins in Agriculture as a forward-looking approach to aligning field observations, models, and digital control. Banerjee et al. (2025) are working in a similar direction, linking digital twins with Advanced Crop Recommendation to optimize production solutions. A systematic review by Yousaf et al. (2023) shows that the development of Agriculture 4.0 is increasingly relying on Data-Driven Systems. However, the challenges of practical implementation, data source integration, and transitioning from analytics to operational solutions remain significant. For the topic of this study, this means the problem is no longer the lack of data sources per se. The main challenge is transforming disparate observations into actionable action plans, especially for spatially constrained agricultural operations.

The third block of literature sources covers platform interoperability, geospatial standards, and data management. Urdu et al. (2024) look at the alignment of interoperability architectures for Digital Agri-Food Platforms, and Obayi et al. (2025) analyze Pragmatic Interoperability as a framework for human-machine interaction in agri-food value chains. In the work of Falcão et al. (2023), interoperability is addressed through the Framework for Data Spaces and automation based on standardized architectures. Roccatello et al. (2025) pay particular attention to IoT standards and protocols for Precision Agriculture, with a focus on semantic interoperability. For geospatial and service dimensioning, the work of Qiao et al. (2023),

which combines real-time OGC WPS and SensorThings APIs for Environmental Modeling, as well as the work of Arz von Straussenburg et al. (2024) on improving the OGC SensorThings API for Industrial IoT use cases. Collectively, these studies demonstrate that OGC standards, SensorThings approaches, service-oriented models, and FAIR principles are not just a technical add-on, but a key condition for the interoperability, reproducibility, and reuse of spatial and sensory data. That is why for systems focused on land use, cadastral and spatial constraints, and multi-source monitoring, the issue of interoperability is methodologically determinative, not auxiliary.

The fourth direction is formed by research on multi-criteria routing and green logistics. Lin et al. (2020) provide a state-of-the-art review of the green vehicle routing problem, highlighting the evolution from classic route problems to models that simultaneously account for costs, time, emissions, and operational constraints. Liu et al. (2024) consider optimizing logistics routes to reduce carbon emissions in the context of Agricultural Cold Chain Logistics. For the topic of this study, their work is of fundamental importance, as it demonstrates the methodological feasibility of a multi-criteria approach to route optimization. At the same time, most research in this direction focuses either on general transport logistics or on individual supply chains. In contrast, for agricultural production in suburban areas, land-use restrictions, plot-level regimes, route accessibility, local exclusion zones, instability in fieldwork timing, and discontinuity in individual data flows become particularly significant.

Separately, it is necessary to highlight the works that help localize the research problem within the Kyiv ag-

glomeration and the Ukrainian context of digital governance. Nazarenko and Martyn (2025) analyze Urban Growth and Agrarian Dynamics in the Kyiv agglomeration, which is important for understanding the spatial pressure on agricultural land use in suburban areas. Nazarenko and Ostroushko (2024), in their Smart City Management System based on Microservices and IoT approaches, highlight the importance of modular digital architectures for integrating distributed data and services. Taken together, these works emphasize that, for the Kyiv agglomeration, digital planning of agricultural operations cannot be considered in isolation from broader processes of territorial spatial transformation, the development of service architectures, and the interaction between urban and suburban systems.

Generalization of the considered works allows us to draw several conclusions. Firstly, the scientific literature is well represented in studies dedicated separately to the monitoring of agricultural production, UAVs, IoT, digital twins, platform interoperability, and green logistics (Aich et al., 2022; Awais et al., 2025). Secondly, much less work combines these areas into a single spatially oriented decision-support system, in which cadastral land and administrative restrictions directly affect route formation and the prioritization of agricultural operations (Falcão et al., 2023; Lin et al., 2020; Liu et al., 2024; Miller et al., 2025). Thirdly, in suburban areas such as the Kyiv agglomeration, aspects that remain peripheral in many publications take on greater weight: instability of data access, changes in transport accessibility, competition for space, operational redevelopment, and the need to simultaneously consider economic, time, environmental, and risk criteria.

This gap in modern research underscores the need to develop a weighted spatio-temporal routing model for digital agriculture in the suburban areas of the Kyiv agglomeration.

Thus, in contrast to scientific papers in which EO/UAV/IoT data is mainly used for crop condition detection or analytical monitoring, this study focuses on their integration into the service architecture for decision-making, where spatial data, administrative-economic constraints, and weighted optimization criteria form the basis for planning operational routes (Qiao et al., 2023; Roccatello et al., 2025; Urdu et al., 2024). This allows us to consider the proposed approach not only as a digital tool for logistics modeling, but also as an element of digital land-use management in the difficult conditions of suburban area transformation (Yousaf et al., 2023; Zhai et al., 2020).

Despite significant progress in the research and development of digital logistics solutions, the analysis reveals that most existing routing systems primarily optimize transport costs in isolation from spatial context and do not account for dynamic cadastral constraints, environmental factors, or agricultural land use.

### ***Methods and research data***

The empirical focus is the peri-urban belt of the Kyiv agglomeration (the outer districts of Kyiv City and adjacent hromadas), characterized by rapid land-use turnover, varied farm sizes, and frequent mobility constraints (Nazarenko et al., 2024, 2025). The methodological goal was to test whether a weights-based, real-time routing service embedded in FAIR/OGC-aligned middleware can continuously generate actionable week-

ly plans under volatile costs, intermittent data, and restricted areas. We used a scenario design with tunable weights on four operational criteria: time, direct cost, CO<sub>2</sub>e, and operational risk, validated across A/B/C stress conditions that reflect realistic price ranges and data availability. To comply with OGC standards, the spatial constraints (cadastral boundaries) should be stored in a PostGIS database and exposed via GeoServer. The routing middleware queries these boundaries dynamically using standard Web Feature Service (WFS) GET requests. This ensures the data is FAIR-compliant, as the spatial identifiers are globally accessible and not locked into proprietary formats. While the platform's theoretical architecture is designed to ingest-process real-time UAV multispectral imagery, wartime restrictions on civilian airspace (martial law) necessitated a transition to satellite Earth Observation data; at the same time, the system architect itself has appropriate modules for processing various types of input images (remote sensing, UAV, etc.).

We combined multi-source observations with administrative-economic layers (Table 1). EO and UAV streams provided spatial diagnostics (crop condition, moisture/stress proxies) at different scales; IoT telemetry added in-field dynamics; administrative layers constrained routing (legal land category, protected/restricted zones); and market feeds parameterized the UAH/km cost bands that drive the logistics objective. Where UAV operations were limited (e.g., NOTAMs/wartime restrictions), the pipeline fell back to satellite and ground sensors; the middleware cached prior states and scheduled asynchronous refresh as connectivity allowed.

To satisfy the interoperability requirements mandated by FAIR principles, the

**1. Core datasets and roles in the system development pipeline\***

Layer	Source / Standard	Spatial/Temporal	Role in model
Sentinel-2 MSI (NDVI/EVI)	EO hub; OGC WMS/WCS	10–20 m; 5-day	Field-level vigor/stress masks; fall back to classify priority blocks
Planet/Radar (optional where available)	WMS/WCS	3–5 m; daily/weekly	Cloud-robust change detection; soil moisture (radar)
UAV orthomosaics & VIs	Mission logs; GeoTIFF; STAC	2–10 cm; task-driven	Micro-windows for spraying/spot irrigation; obstacle detection
IoT sensors (soil moisture, micro-met)	OGC SensorThings API	Point grids; 15–60 min	Trigger rules for irrigation/frost alerts; refine time windows
Cadastral & land-use (admin-econ)	GeoJSON/WFS; registers	Parcel polygons; annual	Legal constraints; crop/ownership; routing feasibility masks
Road network & congestion	OSM and local feeds	Edges; 5–15 min	Travel-time costs; restricted segments; detours
Market signals (fuel, inputs)	Weekly price feeds	Scalars; weekly	UAH/l - UAH/km band priors; scenario stressors
Safety/restriction notices	NOTAMs, civil advisories	Polygons/lines; event-based	No-fly/slow-down zones; risk penalties in routing

\* prepared by Nazarenko V. based on the public research data

proposed middleware avoids proprietary, vendor-locked APIs. Instead, spatial data consolidation relies solely on Open Geospatial Consortium (OGC) standards. Specifically, static land-use boundaries, administrative constraints, and road network topologies are fetched as vector layers using the Web Feature Service (WFS). Dynamic environmental data, such as soil moisture maps derived from satellite EO, are integrated via the Web Map Service (WMS) and Web Coverage Service (WCS). By standardizing the input streams through these OGC protocols, the routing framework ensures that all underlying spatial data remains Findable, Accessible, Interoperable, and Reusable for subsequent cadastre and land-management applications.

We tested three typical real-time scenarios using Kyiv as a transition transport hub area with the following three priority templates:

- Baseline (A) – fuel 68 UAH/l; cost band “Medium (60–120 UAH/

km)”; weights 0.35/0.35/0.20/0.10 (time/cost/CO<sub>2</sub>e/risk).

- Stress conditions (high fuel price, consumption, and transport risks) (B) – fuel 92 UAH/l; “High (120–250)”; weights 0.25/0.45/0.20/0.10, special case study.

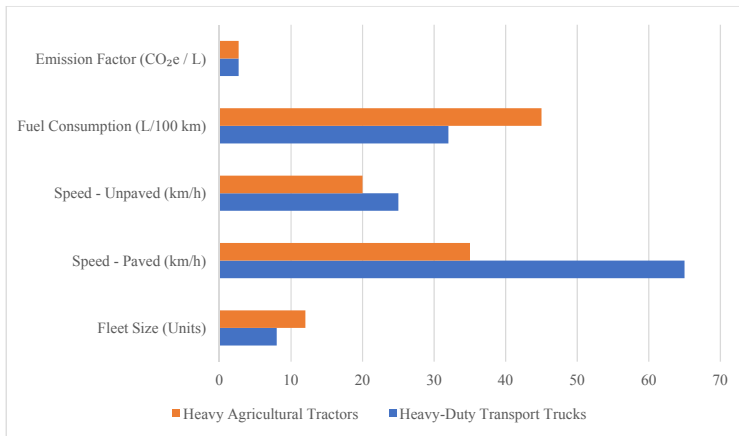
- Sustainability adjusted (C) – fuel 80 UAH/l; “Medium”; weights 0.25/0.30/0.35/0.10, preferential for low-emission approach.

Figure 1 illustrates the comparative operational parameters of the simulated typical fleet (commonly used in agriculture and farming), specifically contrasting heavy-duty transport trucks with heavy agricultural tractors. The chart highlights key logistical trade-offs, demonstrating that while trucks offer significantly higher transit speeds on paved roads, tractors operate with higher baseline fuel consumption but remain essential for navigating unpaved field terrain. Ultimately, integrating these distinct vehicle profiles ensures the simulation

**2. Demonstration sample data of three typical real-time scenarios using Kyiv as a transition transport hub \***

Scenario	Fuel (UAH/l)	Band (UAH/km)	Weights (time/cost/CO <sub>2</sub> e/risk)	Days of the week	Notes
Baseline (A)	68	60–120	0.35 / 0.35 / 0.20 / 0.10	Irrig. Tue/Thu; Spray Wed/Fri	Typical week; partial UAV
Stress conditions (B)	92	120–250	0.25 / 0.45 / 0.20 / 0.10	Same as Baseline with safety slow-downs	High fuel; more restricted segments
Sustainability adjusted (C)	80	60–120	0.25 / 0.30 / 0.35 / 0.10	Irrig. Tue/Thu; Wed/Fri	preferable low-CO <sub>2</sub> range

\* prepared by Nazarenko V. based on the public research data



**Fig. 1. Baseline Simulation Fleet and Operational Parameters** (based on Nazarenko V.'s research data)

accurately captures the complex physical and economic constraints inherent in peri-urban agricultural routing.

The core of the proposed middleware is a dynamic cost function  $C(e)$ , calculated as a normalized weighted sum of four criteria for each route edge  $e$ : transit time, direct fuel cost, carbon-equivalent emissions, and operational risk. Rather than relying on arbitrary manual inputs, the weights for these coefficients were determined based on prioritized logistical strategies. The simulations were categorized into three distinct operation-

al scenarios, with the exact normalized mathematical weights outlined in Table 3. The data provided in Table 3 highlights that the three scenarios differ not only in the fuel-cost context but also in the normalized weighting of route priorities (note the distinction between baseline, stress, and sustainability-adjusted routing logic).

This research presents a simulation-based study developed as a targeted proof-of-concept within a broader, ongoing regional project focused on agricultural land administration within

### 3. Normalized weighting coefficients for routing scenarios\*

Scenario	Fuel price (UAH/l)	Cost band (UAH/km)	Time	Direct cost	CO <sub>2</sub> e	Risk	Sum of coefficients
Baseline (A)	68	60–120	0.35	0.35	0.20	0.10	1.00
Stress (B)	92	120–250	0.25	0.45	0.20	0.10	1.00
Sustainability-adjusted (C)	80	60–120	0.25	0.30	0.35	0.10	1.00

\* prepared by Nazarenko V. based on the public research data

the context of post-war reconstruction and sustainable development. The Kyiv agglomeration data were used for pilot simulations, policy development, and algorithm development. The core system data, spatial boundaries, and logistical constraints used in the simulation are derived from authentic, real-world research data and build on the author's previous research (Nazarenko et al., 2024, 2025).

### Results

The research results demonstrate that the proposed weights-based routing platform is not limited to a conceptual software model, but functions as a practical decision-support instrument under the complex economic and land-use conditions of peri-urban Ukraine. Simulation testing within the Kyiv agglomeration confirmed that integrating satellite, UAV, IoT, and administrative-economic layers through a FAIR/OGC-aligned middleware enables stable weekly planning, observable data flows and changes, and transparent routing logic under volatile fuel prices, restricted mobility, and partially degraded data environments. From the perspectives of land management and agricultural economics, the value of the system lies not only in route generation itself, but also in its capacity to integrate spatial constraints, cost dynamics, and

sustainability indicators into a single operational environment.

During pilot simulation testing (a four-week loop) in the peri-urban zone of the Kyiv agglomeration, the middleware maintained continuous advisory generation despite intermittent UAV availability and short-lived network outages. The system architecture accounted for cases in which NOTAMs or local restrictions prevented flights. In such cases, the system switched to satellite (10–20 m) and in-field IoT telemetry, with store-and-forward edge buffers preserving event integrity and asynchronous refresh backfilling high-resolution layers once links recovered. The system tracked parameters and their changes over time, processing parameters and graph masks for each simulation run; advisory data were exported as CSV/GeoJSON and can be reused within the system. From a practical management perspective, the system ensured that weekly operational schedules were generated consistently on time. Furthermore, if sudden disruptions occurred – such as unexpected traffic congestion or abrupt changes in fuel costs – the system could recalculate routes rapidly enough to support immediate daily management decisions. Crucially for land administration, the simulation showed no violations of restricted land zones, meaning machinery never entered protected or unauthorized areas. At the same time,

the system maintained a high operational reliability, completing at least 95% of scheduled agricultural tasks within their required agronomic timeframes.

To achieve these results, various spatial data sources are standardized onto a consistent territorial grid. The system tracks ongoing changes in crop health and monitors local soil conditions; when moisture or plant health drops below specific levels, it automatically schedules necessary interventions, such as irrigation or spraying. Additionally, local land-use regulations are integrated directly into the spatial map. Certain areas are designated as strictly prohibited (e.g., protected environmental strips, military zones, or private parcels), while other routes are assigned economic penalties (e.g., slow-travel rural corridors). Ultimately, this creates a dynamic land-management map where every route segment is continuously updated with the following operational and economic parameters:

$$c_e = \alpha_t * t_e + \alpha_c * UAH/km_e + \alpha_{CO2} * k_e + \alpha_r * p_e \quad (1)$$

, with  $\alpha$  weights in range up to 1,  $t_e$  is travel time,  $UAH/km_e$  is transportation

company-specific direct cost,  $k_e$  is CO<sub>2</sub>e per km (fuel/emissions factor), and  $p_e$  is risk penalty from safety/terrain/restrictions. It should be noted that the calculation based on equation 1 is part of the software system's data processing (as shown in Figures 3 and 4).

We formulate a multi-objective shortest-path/VRP hybrid with service-time windows. For small fleets and daily tours, we use a label-setting shortest-path with time windows (SP-TW) on a pruned graph; for weekly plans, we construct daily subproblems and apply an iterative greedy-plus-repair heuristic seeded by SP-TW solutions. Each edge is valued by (ce) (1), updating hourly with congestion and daily with new price bands. When IoT/UAV data is missing, imputation (using the last-good satellite or aerial photo imagery) maintains feasibility and flags the uncertainty in the advisory.

Sample routing and scheduling method (algorithm Figure 1):

1. First, we collect data from different sources and bring them to a single format: satellite/IoT/admin-economics (and UAV, if available).
2. Next, the system determines where and what can be done: creates “masks” (prohibited zones, priority ar-

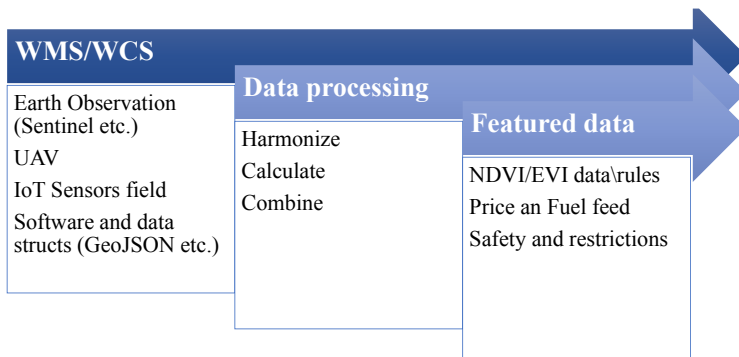


Fig. 2. Middleware-to-Routing dataflow (based on Nazarenko V.'s research data)

eas) and adds “fines” for problematic sections of the route (traffic jams, risk areas, restrictions).

3. A list of specific tasks is formed for each day - for example, watering / spraying/inspection, and time windows are set for each task when it can be completed.

4. The system updates the cost of transportation (at current prices/ranges in UAH/km) and the estimate of CO<sub>2</sub>e emissions (according to fuel coefficients), after which it applies the user’s weights: what is more important: time, money, ecology, or risks.

5. Then the algorithm finds several potential routes, and then “finishes” them: checks the capacity of the equipment, the order of execution, the realism of the schedule, and restrictions.

6. The system then compares the options based on four criteria (cost, time, CO<sub>2</sub>e, risk), selects the best one, and publishes the plan/recommendations.

7. Finally, it stores the full history (what data and what parameters led to this decision). If some data is unavailable, it runs an update in the background and automatically recalculates the plan once the information becomes available.

Figure 2 illustrates the Middleware-to-Routing dataflow, where the Web Map Service (WMS) integrates visual spatial layers (e.g., land-use boundaries and road networks), and the Web Coverage Service (WCS) manages dynamic, multidimensional environmental data (e.g., soil moisture grids and satellite imagery).

We compare scenarios for weekly totals and day-to-day distribution: direct logistics cost (UAH), total travel time (hours), CO<sub>2</sub>e (kg), feasibility rate (% of jobs served within windows), and number of restricted-edge violations

(expected 0). We track delta-KPIs (B to A, C to A) and generate policy-grade metrics (e.g., kg CO<sub>2</sub>e per job, cost per km). A sensitivity sweep varies ( $\alpha$ ) weights by  $\pm 0.1$  and fuel by  $\pm 10$  UAH/l to assess robustness.

Three weekly scenarios were evaluated, with specific coefficients set accordingly. The simulation was conducted in the suburban area of the Kyiv agglomeration: A (baseline), B (stressed: high fuel prices and higher transport risk), and C (sustainability-oriented), using the same set of tasks and spatial routing constraints. The values in Table 4 show the results of a single controlled test run for each scenario, executed under fixed input parameters. Note that these indicators should be interpreted as scenario-comparative demonstration results, and not as statistically averaged estimates over a series of independent launches.

CO<sub>2</sub>e was calculated from the modeled weekly transportation distance, baseline fuel-use intensity, and a fixed emission factor. Because these inputs remained unchanged across scenarios, the CO<sub>2</sub>e total also remained unchanged; the weighting structure affected route prioritization, but not the underlying fleet-emission assumptions. Restricted-edge violations indicate the number of prohibited spatial segments used in the final routing solution. Since hard masks removed such edges before optimization, the value remained zero in all scenarios.

Restricted-edge violations were calculated as the number of route segments in the final weekly solution intersecting spatially prohibited or legally restricted edges. Because such edges were removed from the feasible routing graph through hard spatial masks before optimization, the resulting value remained zero in all simulated scenarios.

**4. Weekly totals by scenario (same job set and masks)\***

KPI (units)	Scenario A (Baseline)	Scenario B (Stress)	Scenario C (Sustainability-tilted)
Distance (km)	1,240	1,240	1,240
Direct logistics cost (UAH)	76,582	86,106	81,344
Average cost per km (UAH/km)	61.76	69.44	65.60
Total travel time (h)	89.61	88.58	88.58
CO <sub>2</sub> e (kg)†	1,116.3	1,116.3	1,116.3
Feasibility (% jobs within windows)	96%	95%	96%
Restricted-edge violations (count)	0	0	0

\* prepared by Nazarenko V. based on the public research data

Two observations stand out. First, direct cost is highly sensitive to fuel-driven bands: B increases weekly outlay by +12.44% vs. A, and C sits midway (+6.22%). Second, time and CO<sub>2</sub>e remain largely stable at the weekly level across identical job sets, with small time differences arising from weight profiles (slightly lower time in B/C, where the time weight is reduced and cost pressure is high). Because restricted segments were enforced as hard masks, feasibility and safety outcomes were preserved across scenarios.

Table 5 presents clear evidence that in weeks with high fuel prices and tighter risk handling, cost rises sharply, while tactical re-weighting can protect time (-1.15%) without sacrificing safety. CO<sub>2</sub>e stability here reflects identical distance and emission factors; when low-emission corridors or electrified assets are present, the CO<sub>2</sub>e column becomes a live differentiator (not available in these pilot assets).

While Tables 4 and 5 quantify the economic and operational effects of the three routing scenarios, the practical significance of the proposed system is more fully illustrated through the software interface and service logic presented in Figures 3 and 4. These figures

**5. Scenario testing delta-KPIs (relative to Scenario A)\***

Metric	B vs. A	C vs. A
Direct logistics cost	+12.44%	+6.22%
Total travel time	-1.15%	-1.15%
CO <sub>2</sub> e	0.00%	0.00%
Feasibility	-1 pp	0 pp

\* prepared by Nazarenko V. based on the public research data

show how model assumptions, scenario weights, and routing outcomes are translated into a user-oriented digital environment, allowing planners, researchers, and local decision-makers to move from raw multi-source data toward interpretable weekly plans, comparative KPIs, and policy-relevant recommendations. In this sense, the software layer acts not merely as a visualization add-on, but as an integral component of the routing methodology itself.

Figure 3 presents the main operational screen of the routing service developed within the study. The interface combines weekly planning logic, scenario configuration, and KPI visualization in a single decision-support workspace. From a methodological standpoint, this screen demonstrates that route planning is no longer treated as an isolated op-

timization task but as part of a broader digital environment in which the planner can simultaneously adjust fuel prices, emissions factors, cost bands, and routing weights. Such an arrangement is particularly relevant for peri-urban agricultural systems, where land-use conflicts, road accessibility, and economic volatility require frequent recalibration of operational priorities.

It should be noted that the presented software was developed by the author using the ReactJS software framework and JSON data files, and is currently undergoing testing at early development and production stages. All the calculations and simulations presented were performed in this software web application (at this stage, only the local version is available).

Figure 4 illustrates the delta-KPI comparison service generated by the scenario-testing module. The figure operationalizes the analytical differences among the baseline, stress, and sustainability-oriented routing scenarios by presenting them in an interpretable managerial dashboard. In contrast to static tabular comparison, the interface enables rapid identification of how specific weight distributions influence direct logistics costs, travel time, and feasibility outcomes. This is especially important from an economic perspective, as the system makes the consequences of fuel-price shocks or stricter routing constraints visible in real time, allowing the user to compare not only route efficiency but also the broader cost profile of alternative strategies.

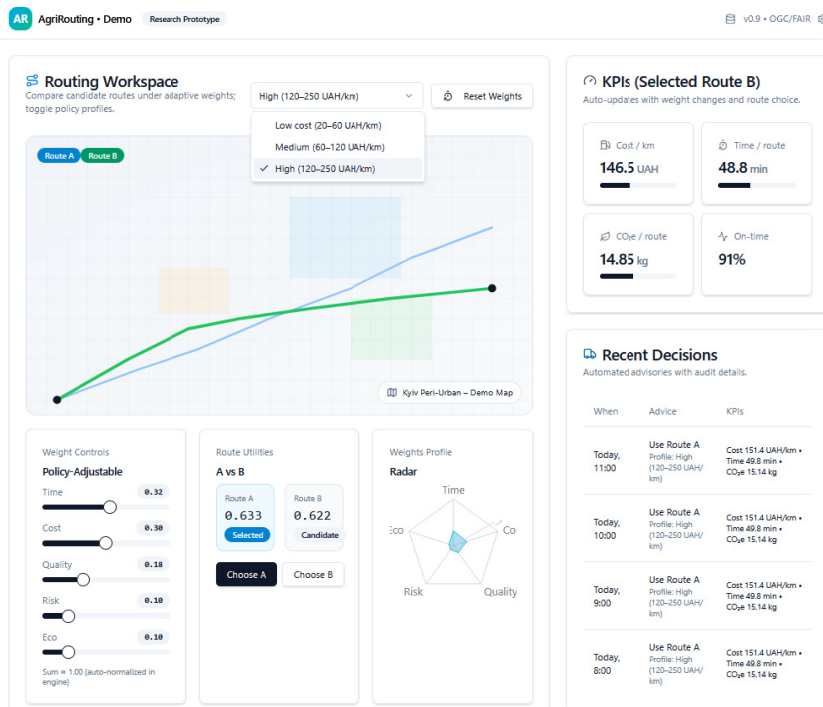


Fig. 3. Routing service main service screen demonstration (based on Nazarenko V.'s research data)

Taken together, Figures 3 and 4 provide evidence that the proposed routing architecture has practical applicability beyond theoretical modeling. They demonstrate how middleware and a routing engine can be embedded in a real software service that supports human-in-the-loop planning, scenario testing, and evidence-based policy communication. For research work focused on land management and economics, these figures are particularly useful because they make visible the link between spatial constraints, operational planning, and measurable economic effects. In other words, the figures strengthen the article by demonstrating that the study is not only about algorithmic optimization, but about the creation of a usable digital instrument for land-use govern-

nance and agricultural decision-making.

### Discussion

The results confirm a broader trend identified in recent research on digital agriculture: the analytical value of UAV, EO, and IoT data increases significantly when these sources are integrated into a decision-oriented service architecture rather than used solely for monitoring or descriptive reporting. In contrast to many studies that focus primarily on field diagnostics, the present research demonstrates how multi-source spatial and economic data can be transformed into operational routing decisions with measurable weekly effects. This positions the study closer to the literature on Agriculture 4.0 decision-support systems and green logistics,

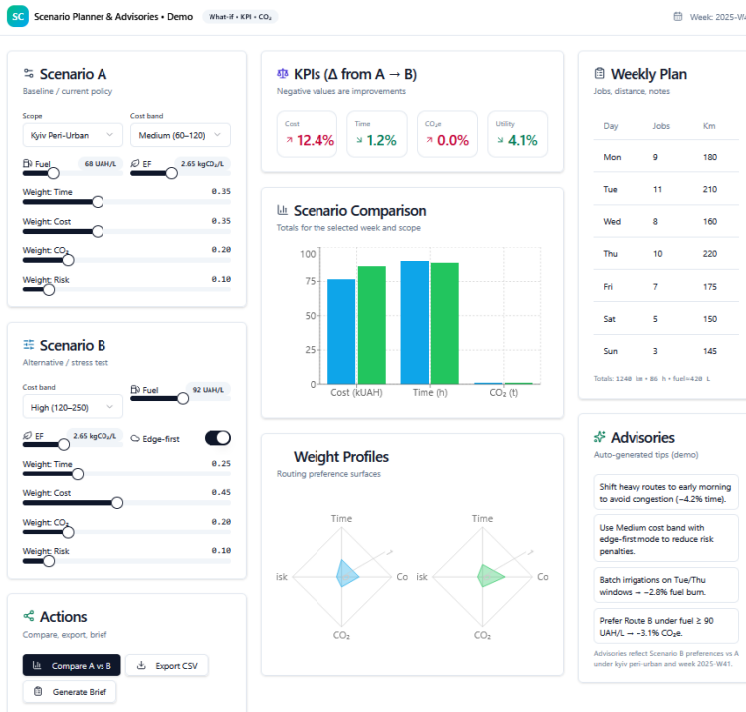


Fig. 4. Scenario testing delta-KPIs (relative to Scenario A) service demonstration (based on Nazarenko V.'s research data)

while extending those approaches by explicitly considering Ukrainian peri-urban land-use constraints and scenario-specific economic bands.

A particularly important finding is the strong sensitivity of weekly logistics costs to fuel-driven routing conditions, while travel time remained comparatively stable across the tested scenarios. This indicates that, under the current structure of Kyiv's suburban system, within the framework of a controlled scenario experiment, the fuel and cost component is the main source of variation in logistics costs and has a stronger immediate impact on operational planning than the spatial distance itself. Such a result complements previous studies on sustainable routing and green vehicle logistics, which often emphasize carbon and distance optimization, but less frequently examine the role of regional fuel-cost fluctuations and land-use restrictions in shaping route feasibility. The current research, therefore, contributes an applied economic dimension to digital routing studies by showing that the same routing architecture can serve both as a logistics tool and as an instrument for understanding the territorial cost structure of agriculture near large metropolitan areas.

At the same time, the study also reveals several limitations that define the direction for future work. First, the stability of CO<sub>2</sub>e values across scenarios indicates that, in the present pilot configuration, emissions are largely driven by uniform distance and fuel assumptions rather than by differentiated low-carbon corridors or machinery classes. Second, the scenario design was intentionally controlled and does not yet represent the full seasonal variability of crop calendars, labor allocation, or weather shocks. Third, while

the software interface confirms practical applicability, broader validation with cooperatives, municipalities, and agricultural service providers is still required. Nevertheless, these limitations do not weaken the study's contribution; rather, they confirm that the presented platform should be understood as a scalable middleware-based foundation for further integration of digital twins, real-time mobility feeds, and policy-oriented sustainability accounting.

---

### References

1. Agrawal, J., & Arafat, M. Y. (2024). Transforming farming: A review of AI-powered UAV technologies in precision agriculture. *Drones*, 8(11), Article 664. <https://doi.org/10.3390/drones8110664>
2. Aich, S., Chakraborty, S., Lee, Y.-K., & Kim, H.-C. (2022). Digital twins in agriculture: A state-of-the-art review. *ICT Express*, 8(3), 300–312. <https://doi.org/10.1016/j.icte.2021.11.006>
3. Arz von Straussenburg, S., Aldenhoff, T., & Riehle, D. (2024). Improving OGC SensorThings API for industrial IoT use cases: Lessons from real-world scenarios. In *Proceedings of the 27th AGILE Conference on Geographic Information Science*. CEUR-WS. <http://ceur-ws.org/Vol-3849/forum1.pdf>
4. Awais, M., Wang, X., Hussain, S., Aziz, F., & Mahmood, M. Q. (2025). Advancing precision agriculture through digital twins and smart farming technologies: A review. *AgriEngineering*, 7(5), Article 137. <https://doi.org/10.3390/agriengineering7050137>
5. Banerjee, S., Mukherjee, A., & Kamboj, S. (2025). Precision agriculture revolution: Integrating digital twins and advanced crop recommendation for optimal yield [Preprint]. *arXiv*. <https://arxiv.org/abs/2502.04054>
6. Falcão, L., Matar, S., Rauch, E., Elberzhaeger, F., & Koch, K. (2023). Next-generation

- interoperability: A framework for data spaces and OPC UA-based automations. *Information*, 14(8), Article 440. <https://doi.org/10.3390/info14080440>
7. Guebsi, R., Mami, S., & Chokmani, K. (2024). Drones in precision agriculture: A comprehensive review of applications, technologies, and challenges. *Drones*, 8(11), Article 686. <https://doi.org/10.3390/drones8110686>
  8. Lin, C., Choy, K. L., Ho, G. T. S., Chung, S. H., & Lam, H. Y. (2020). Green vehicle routing problem: A state-of-the-art review. *International Journal of Production Economics*, 228, Article 107749. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2020.107749>
  9. Liu, J., Zhang, D., Li, X., & Wang, L. (2024). Distribution path optimization of carbon emission-reducing agricultural cold chain logistics based on improved GA. *Cleaner Logistics and Supply Chain*, 12, Article 100164. <https://doi.org/10.1016/j.clscn.2024.100164>
  10. Miller, T., Mikiciuk, G., Durluk, I., Mikiciuk, M., Łobodzińska, A., & Śnieg, M. (2025). The IoT and AI in agriculture: The time is now—A systematic review of smart sensing technologies. *Sensors*, 25(12), Article 3583. <https://doi.org/10.3390/s25123583>
  11. Nazarenko, V., & Martyn, A. (2025). Urban growth and agrarian dynamics: Evaluating the Kyiv agglomeration's economic landscape. *Economics and Business Management*, 2(16), 24–41. <https://doi.org/10.31548/economics/2.2025.24>
  12. Nazarenko, V., & Ostroushko, B. (2024). Smart city management system leveraging microservices and IoT. *Energiya*, 1(71), 29–38. [https://doi.org/10.31548/energiya1\(71\).2024.029](https://doi.org/10.31548/energiya1(71).2024.029)
  13. Obayi, R., Choudhary, S., Nayak, R., & Ramjaneyulu, G. V. (2025). Pragmatic interoperability for human–machine value creation in agri-food supply chains. *Information Systems Frontiers*. Advance online publication. <https://doi.org/10.1007/s10796-024-10567-x>
  14. Qiao, Y., Ren, P., Tang, H., & Li, Z. (2023). An interoperable and service-oriented approach for real-time environmental modeling by coupling OGC WPS and SensorThings API. *Environmental Modelling & Software*, 162, Article 105651. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2023.105651>
  15. Roccatello, E., Pagano, A., Levorato, N., & Rumor, M. (2025). State of the art in Internet of Things standards and protocols for precision agriculture with an approach to semantic interoperability. *Network*, 5(2), Article 14. <https://doi.org/10.3390/network5020014>
  16. Urdu, D., Berre, A. J., Sundmaeker, H., Rilling, S., Roussaki, I., Marguglio, A., & Wolfert, S. (2024). Aligning interoperability architectures for digital agri-food platforms. *Computers and Electronics in Agriculture*, 224, Article 109194. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2024.109194>
  17. Yousaf, H., Kayvanfar, V., Mazzoni, S., & Elomri, A. (2023). From decision support to Agriculture 4.0: A systematic review of data-driven systems and adoption challenges. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 7, Article 1107026. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2023.1107026>
  18. Zhai, Z., Martínez, J. F., Beltran, V., & Martínez, N. L. (2020). Decision support systems for Agriculture 4.0: Survey and challenges. *Computers and Electronics in Agriculture*, 170, Article 105256. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105256>

---

**Назаренко В.А.**

**ПРОСТОРОВО-ЧАСОВА МОДЕЛЬ ВАГОВОЇ МАРШРУТИЗАЦІЇ ДЛЯ ПІДТРИМКИ ЕКОНОМІЧНОГО ПЛАНУВАННЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРЬСЬКОГО ЗЕМЛЕКОРИСТУВАННЯ У ПРИМІСЬКІЙ ЗОНІ КИЇВСЬКОЇ АГЛОМЕРАЦІЇ**

**ЗЕМЛЕУСТРІЙ, КАДАСТР І МОНІТОРИНГ ЗЕМЕЛЬ 2'26: 72-88**

<http://dx.doi.org/10.31548/zemleustriy2025.02.05>

**Анотація.** Аграрний сектор України стикається з комплексним економічним і просторовим тиском: змінами у передміському землекористуванні, ускладненою та порушеною логістикою, нестабільними цінами на паливо та обмеженою мобільністю в умовах воєнного стану. Ці виклики особливо помітні в Київській агломерації, де аграрне виробництво дедалі більше залежить від швидкого перепланування в умовах змінних обмежень. У цьому дослідженні представлена та оцінена платформа маршрутизації на основі коефіцієнтів для цифрового аграрного виробництва в Україні, інтегрована в архітектуру проміжного програмного забезпечення, узгоджена з FAIR/OGC, яка консолідує потоки даних отримані із великої кількості джерел (супутникові EO, зображення БПЛА за дозволом, телеметрія IoT, завантаженість доріг і затори, а також адміністративно-економічні реєстри тощо). Платформа функціонує як інструмент безперервної підтримки прийняття рішень. Вона дозволяє користувачам гнучко налаштовувати маршрути за чотирма критеріями (час, прямі витрати, викиди CO<sub>2</sub>e та операційні ризики), тоді як алгоритм автоматично враховує просторові та безпекові обмеження за допомогою жорстких заборонених зон та змінних коефіцієнтів для правильного налаштування модуля обробки даних.

Проведено імітаційне сценарне моделювання роботи алгоритму відбувалося на основі часових даних чотирьох тижнів у приміській зоні Києва з використанням контрольованого сценарію з трьома тижневими шаблонами: базовим (А), стресовим (В): високі ціни на паливо та вищий транспортний ризик) та скоригованим на сталий розвиток (С). Проміжне програмне забезпечення (ПЗ) підтримувало безперервне генерування рекомендацій під час періодичної доступності БПЛА та короткочасної недоступності мережі, застосовуючи перевірку заповнення баз даних та пересилання, асинхронне оновлення та опрацювання часових рядів даних; експортовані повідомлення про маршрути можна було відтворити як CSV/GeoJSON з повним походженням. Аналіз змодельованих сценаріїв показав високу залежність логістичних витрат за тиждень від зміни цін на паливо. Зокрема, порівняно з базовим сценарієм А, прямі витрати зросли на 12,44% у сценарії В та на 6,22% у сценарії С. Водночас гнучке налаштування коефіцієнтів дозволило зберегти стабільний час проходження маршрутів (загальний час у дорозі для В і С навіть зменшився на 1,15%). Крім того, система забезпечила високу точність планування (понад 95% завдань виконано у задані часові вікна) та повністю уникнула маршрутизації через заборонені зони завдяки застосуванню жорстких просторових обмежень. Загальні показники CO<sub>2</sub>e фіксувалися стабільними у різних сценаріях за уніфікованих коефіцієнтів викидів, що підкреслює необхідність диференційованих низьковуглецевих діапазонів або баз даних у майбутніх пілотних симуляціях.

Результати свідчать, що стандартизоване проміжне ПЗ та маршрутизація на основі вагових коефіцієнтів може слугувати практичним інструментом управління просторовими даними та аграрною економікою, поєднуючи просторові обмеження, динаміку витрат та індикатори контролю сталості у межах одного операційного робочого процесу.

**Ключові слова:** цифрове сільське господарство, маршрутизація на основі питомих коефіцієнтів, проміжне програмне забезпечення, інтеграція UAV–IoT–супутникового забезпечення, приміські зони Києва, логістичні витрати, зміна використання земель, сумісність FAIR/OGC, підтримка прийняття рішень, метрики сталого розвитку..

# ГЕОДЕЗИЧНИЙ СУПРОВІД БУДІВНИЦТВА ЖИТЛА, ПРОМИСЛОВИХ І ТРАНСПОРТНИХ ОБ'ЄКТІВ

ISSN 2306-1677 (Print) ISSN 2518-7325 (On-line)

Отримано: 28.04.2026; Прийнято: 15.05.2026; Опубліковано: 30.06.2026;

УДК 620.92:621.317.38/.39]:[692.4:721]:[711:911.37]

<http://dx.doi.org/10.31548/zemleustriy2026.02.06>

## РОЗРАХУНОК КОЕФІЦІЄНТУ ОСВІТЛЕНOSTІ ТА ЕНЕРГЕТИЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ДАХІВ БУДИНКІВ ПРИ ПРОЄКТУВАННІ ЗАБУДОВИ НАСЕЛЕНИХ ПУНКТІВ

**Р. М. РУДИЙ,**

*доктор технічних наук, професор*

*E-mail: pavlinarepeta@ukr.net*

*ORCID: 0000-0001-8743-5151*

*Уманський національний університет*

**Ю. О. КИСЕЛЬОВ,**

*доктор географічних наук, професор*

*E-mail: kyseljov@ukr.net*

*ORCID: 0000-0003-0530-1892*

*Уманський національний університет*

**О. Я. КРАВЕЦЬ,** *кандидат технічних наук, доцент,*

*E-mail: olenakravets9@gmail.com*

*ORCID: 0000-0001-7861-0640*

*Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу*

**П. М. БОРОВИК,**

*кандидат економічних наук, доцент*

*E-mail: borovikpm@ukr.net*

*ORCID: 0000-0001-7971-1718*

*Уманський національний університет*

**М. В. ШЕМЯКІН,**

*кандидат сільськогосподарських наук, доцент*

*E-mail: misha.uman@gmail.com*

*ORCID: 0000-0002-3621-1446*

*Уманський національний університет*

**Анотація.** Використання сонячних батарей як джерела живлення не тільки для промислових підприємств, а й для приватних будівель почалося в Україні на початку 21 століття, а широке впровадження почало спостерігатись приблизно через 10 років, коли кількість домогосподарств із встановленими сонячними електростанціями стрімко зростає у зв'язку із запровадженням так званого «зеленого тарифу». Ще більше необхідність використання автономного енергозабезпечення окремих будинків назріла в зв'язку з війною.

Об'єктом даних досліджень можна вважати експозицію схилів двоскатних дахів будинків при плануванні територій населених пунктів, а метою – визначення кількості енергії світла, що надходить на скати дахів різної експозиції з розміщеними сонячними панелями.

У статті поставлене завдання на основі положень геодезичної астрономії знайти оптимальні параметри для орієнтування сонячних батарей на дахах будівель, щоб отримати максимальну кількість електроенергії. Обчислення здійснені для дня літнього сонцестояння в умовах м. Івано-Франківськ. Значення оптимального кута нахилу даху будинка взято з наявних літературних джерел. Виконане дослідження ілюструє, як орієнтація даху будівлі впливає на потенціал використання сонячної енергії. Результати розрахунків коефіцієнта сонячної енергії  $K$  та величини сонячної енергії  $E_s$  для різних варіантів орієнтації двоскатного даху дозволяють зробити відповідні висновки. Результати дослідження засвідчили, що оптимальним варіантом експозиції схилів даху з метою встановлення об'єктів малої енергетики є варіант Схід – Захід, який дає змогу отримувати максимальну кількість сонячної енергії впродовж усього світлового дня. В такому разі схил східної експозиції буде активним від сходу Сонця до полудня, а західної – від полудня до заходу Сонця. При орієнтації даху Північ – Південь південний схил даху відзначатиметься підвищеною активністю впродовж досить короткого часу близько полудня, що є недостатнім для отримання високого рівня ефективності впродовж усього світлового дня. Закономірно, що освітленість північного схилу, а отже – його ефективність при виробництві електроенергії, є найнижчою. Дахи діагональної орієнтації (північний захід – південний схід або північний схід – південний захід) дають змогу впродовж світлового дня забезпечувати рівномірне надходження сонячного світла.

**Ключові слова:** проектування забудови, автономне енергозабезпечення, сонячна енергетика, дах будинку, коефіцієнт освітленості.

---

### **Актуальність**

При проектуванні населених пунктів розміщення невеликих, особливо приватних, будівель потребує врахування певних особливостей, серед яких значне місце може мати освітленість як усередині приміщень, так і даху, оскільки дах може використовуватися для розміщення

сонячних батарей, тобто енергозабезпечення будинку. Застосування сонячних панелей як мініелектростанцій як виробництвом, так і побутовими споживачами, розпочалося в Україні близько 25 років тому, зокрема в останнє десятиріччя завдяки впровадженню «зеленого тарифу» ця практика набула більш істотного поширення. Об'єкти української енерге-

тики відзначаються досить високим рівнем централізованості. Тому вкрай важливим є здійснення децентралізації енергетичної сфери, зокрема актуальним є масове створення об'єктів малої енергетики, в тому числі сонячних електростанцій. Нині у зв'язку з війною автономне енергозабезпечення будинків та відповідні дослідження є досить актуальними. Оскільки сонячні електростанції використовують головним чином для забезпечення енергонезалежності приватних господарств та підприємств, то сонячні панелі власники встановлюють на дахах будівель. Отже, при проектуванні забудови вказані будівлі бажано певним чином орієнтувати для отримання максимальної кількості електроенергії.

### ***Аналіз останніх досліджень і публікацій***

Можна вважати, що початок нашого століття знаменується бурхливим розвитком сонячної енергетики. Так, у [4] розглянуто використання сонячних енергетичних систем у будівлях із наголосом на стратегіях проектування на ранніх стадіях для підвищення енергоефективності. З огляду на обмежений простір на дахах високих будівель, фасади пропонують перспективну альтернативу для виробництва сонячної енергії. Сюди входить екологічний та міський контекст, форма та орієнтація будівлі, конфігурація фасадів та специфічні для типології характеристики для житлових, офісних та будівель змішаного використання. У [14] наголошується, що в умовах добового моделювання орієнтація будівлі суттєво впливає на режими потоку повітря та ефективність вентиляції, хоча

розподіл температури поверхні залишається досить послідовним у різних орієнтаціях. На завершення, існує кореляція між орієнтацією будівлі та тепловими характеристиками, що дає рекомендації щодо проектування, які можуть покращити тепловий комфорт та сприяти енергоефективності в аналогічному житлі в майбутньому. В [15] зазначено, що геометрична форма та конфігурація даху є важливим фактором проектування.

Китайські вчені виявили прогалину серед більшості дослідницьких робіт, які ще не розкрили «геометрію даху» як визначальний фактор дизайну для виробництва фотоелектричної енергії [13]. У цьому дослідженні автори перевірили свою гіпотезу, вивчаючи та порівнюючи баланс збору сонячної енергії і споживання та економії енергії завдяки неконтрольованому проникненню денного світла, відблисків, а також сонячного теплового навантаження різних геометричних форм дахів у субтропічному кліматі. У [7] наведені дослідження з визначення умов інсоляції та вибору оптимальної орієнтації житлових будинків з урахуванням широти місцевості Полтави. В зазначеній праці наголошується, що в наш час відбувається перехід від будівництва за типовими проектами до індивідуального проектування та продовжується процес ущільнення житлової забудови в містах шляхом нового будівництва в історично забудованих районах. Ущільнення та збільшення кількості поверхів неминуче погіршує інсоляцію в житлових кімнатах існуючих будинків через додаткове затінення їх вікон, що призводить до зменшення тривалості інсоляції. Особливого значення набуває фактор раціонального планування території та оптималь-

ної орієнтації будинку за сторонами світу, правильний вибір поверхів та конфігурації в плані. У [8] подано результати, що виконані в Австралії, яка отримує сонячної радіації на рік приблизно в 1000 разів більше, ніж загальний обсяг виробництва енергії. Сонячні фотоелектричні системи на дахах можуть забезпечити значну частку загальної енергії країни. Архітектурний дизайн та орієнтація дахів мають значний вплив на енергоефективність сонячних систем на дахах. Однак ці аспекти отримали недостатню увагу в академічній літературі.

У праці [9] з метою практичного обґрунтування досліджується естетичний дизайн п'яти типових схем проектування дахів (включаючи плоский, односхилий, двосхилий, вальмовий /чотирихилий/ та дах-метелик) для порівняння енергії, що виробляється сонячними системами, встановленими на кожному проекті. Встановлено, що оптимальний кут нахилу становить близько 35°, що майже дорівнює географічній широті досліджуваного місця; та конструкція односхилого даху забезпечує максимальний потенціал для виробництва сонячної енергії порівняно з іншими схемами проектування дахів. У праці [11] на прикладі тогочасного Заставнівського району Чернівецької області обґрунтовано методологію ефективного використання земельних ресурсів для розвитку сонячної енергетики на основі дистанційного зондування Землі та ГІС-технологій. У [3] наведені результати моделювання процесів поглинання сонячної енергії певними ділянками землі. У [1; 5] наводяться розрахунки кількісного значення енергії сонячного випромінювання для земельних ділянок в Івано-Франківській області, вико-

нані за двома методиками, які можуть бути використані для розв'язування нашої задачі. Досліджуваний нами регіон є також об'єктом роботи [10], присвяченої геоінформаційну моделюванню рівня інсоляції. ГІС-технології було використано в одній із попередніх праць авторів для вивчення зсувних процесів [6].

У цілому можна вважати, що поставлена нами проблема розв'язується, головним чином, експериментальними методами, а питання отримання кількісних значень на основі теоретичних положень належним чином не висвітлене.

**Метою статті** є обґрунтування оптимальної експозиції схилів двоскатного даху з урахуванням висоти Сонця над горизонтом.

**Завдання статті:**

- на основі положень геодезичної астрономії обчислити коефіцієнти освітленості двоскатного даху будинку залежно від просторової орієнтації скату, висоти Сонця над горизонтом і азимуту схилу;

- вирахувати кількість сонячної енергії, отримуваної поверхнею даху залежно від просторової орієнтації;

- визначити оптимальну просторову орієнтацію двоскатного даху будинку.

**Об'єктом даних досліджень** можна вважати орієнтування дахів будівель при проектуванні забудови населених пунктів, а предметом – об'єкти кількості світлової енергії, що потрапляє на схили даху з розміщеними сонячними батареями.

**Матеріали і методи дослідження**

Матеріалом для проведення дослідження слугує двоскатний дах

будинку певної експозиції. В ході дослідження застосовано логічні методи (порівняння, узагальнення), експериментальний, математичний (розрахунковий).

**Експериментальні розрахунки**

Кількість сонячної енергії  $E_c$ , яка потрапляє на поверхню даху, визначається за формулою [2]:

$$E_c = E_0 \cdot K \quad (1)$$

де  $E_0$  – сонячна стала. Вона характеризує інтенсивність сонячного випромінювання та залежить від місця розташування, погодних умов, часу. Сонячна стала характеризує кількість сонячної енергії та вимірюється в кВт·год/м<sup>2</sup> за певний період, тобто годину, день, рік.  $K$  – коефіцієнт сонячної енергії, яку отримує поверхня даху залежно від своєї експозиції (азимута)  $A$  та кута нахилу  $i$ . За його значенням виконується порівняльний аналіз.

Коефіцієнт  $K$  є косинусом кута між нормаллю до поверхні даху та напрямом на Сонце [2; 12]:

$$K = \cos H \cdot \sin i \cdot \cos (180 - A \pm \pm \cos^{-1} \frac{\sin \varphi \cdot \sin H - \sin \alpha}{\cos \varphi \cdot \cos H}) + \sin H \cdot \cos i \quad (2)$$

- де  $H$  – висота Сонця;
- $i$  – кут нахилу даху;
- $A$  – експозиція (азимут) даху;
- $\varphi$  – географічна широта місця спостереження;

$\delta$  – схилення Сонця.

Наведені нижче розрахунки, виконані для дня літнього сонцестояння 22 червня, коли максимальна висота Сонця  $H$  над горизонтом на широті  $\varphi = 49^\circ$  (м. Івано-Франківськ) в полудень дорівнює  $64^\circ$ , схилення Сонця  $\delta = 23,5^\circ$ . Щодо кута нахилу даху  $i$ , то з літературних джерел відомо, що оптимальний кут нахилу даху будівлі для географічних широт України  $44-52^\circ$ , складає приблизно  $40^\circ$  [1; 5].

У формулі (2) знак « $\rightarrow$ » перед косинусом приймають для розрахунків коефіцієнта  $K$  до полудня, а знак « $\leftarrow$ » – після полудня.

Результати обчислення коефіцієнта сонячної енергії  $K$  для варіантів орієнтування двоскатного даху, поданих на рис. 1, зведено в табл. 1-4.

Середнє значення коефіцієнта  $K$  від сходу Сонця і до полудня на східному схилі складає 0,87417522, що відповідає величині сонячної енергії  $E_c = 1,19$  кВт·год/м<sup>2</sup> (рис. 1а; табл. 1). Аналогічний результат для західного схилу в інтервалі часу від полудня до заходу Сонця.

Середнє значення коефіцієнта  $K$  від сходу Сонця і до заходу на північному схилі складає 0,410304, що відповідає величині сонячної енергії  $E_c = 0,56$  кВт·год/м<sup>2</sup> (рис. 1б; табл. 2).

Середнє значення коефіцієнта  $K$  від сходу Сонця і до заходу на південному схилі складає 0,457668, що відповідає величині сонячної енергії

**1. Коефіцієнт сонячної енергії  $K$  для орієнтації даху а) (східний і західний схил)**

Азимут схилу, А	Висота Сонця, H										
	10°	20°	30°	40°	50°	64°	50°	40°	30°	20°	10°
	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K
Сх. 90°	0,710596	0,849841	0,93908	0,978934	0,966136	0,800463	0,207512	0,005874	0	0	0
Зх. 270°	0	0	0	0,005874	0,207512	0,800463	0,966136	0,978934	0,93908	0,849841	0,710596

## 2. Коефіцієнт сонячної енергії К для орієнтації даху б) (північний і південний схил)

Азимут схилу, А	Висота Сонця, Н										
	10°	20°	30°	40°	50°	64°	50°	40°	30°	20°	10°
	К	К	К	К	К	К	К	К	К	К	К
Пн. 0°	0,392108	0,400889	0,409129	0,416576	0,423005	0,429929	0,423005	0,416576	0,409129	0,400889	0,392108
Пд. 180°	0	0,123116	0,356915	0,568231	0,750643	0,947104	0,750643	0,568231	0,356915	0,123116	0

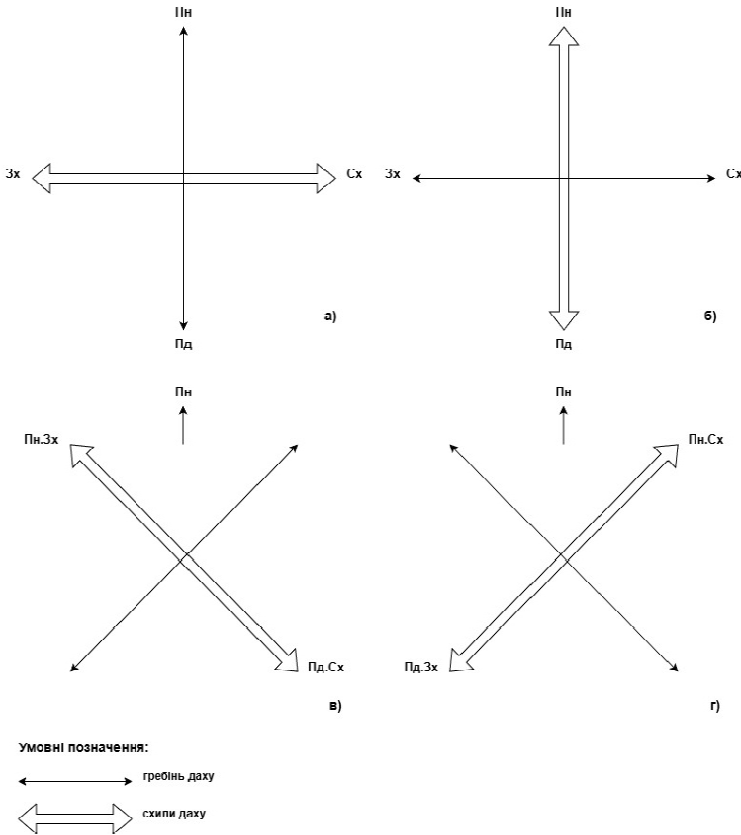


Рис. 1. Варіанти орієнтації двоскатного даху

$E_c = 0,62 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{м}^2$  (див. рис. 1б; табл. 2).

Середнє значення коефіцієнта К від сходу Сонця до полудня на південно-східному і від полудня до заходу Сонця на північно-західному схилах складає 0,742409, що відповідає величині сонячної енергії  $E_c =$

$1 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{м}^2$  (рис. 1в; табл. 3).

Середнє значення коефіцієнта К від сходу Сонця до полудня на північно-східному і від полудня до заходу Сонця на південно-західному схилах складає 0,742409, що відповідає величині сонячної енергії  $E_c = 1 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{м}^2$  (рис. 1г; табл. 4).

### 3. Коефіцієнт сонячної енергії К для орієнтації даху в) (північно-західний і південно-східний схил)

Азимут схилу, А	Висота Сонця, Н											
	10°	20°	30°	40°	50°	64°	50°	40°	30°	20°	10°	
	К	К	К	К	К	К	К	К	К	К	К	К
Пд.Сх 135°	0,358228	0,579459	0,757754	0,890051	0,970876	0,950524	0,434448	0,201993	0	0	0	
Пн.Зх 315°	0	0	0,00829	0,094757	0,202772	0,584825	0,739201	0,782815	0,794675	0,775875	0,72463	

### 4. Коефіцієнт сонячної енергії К для орієнтації даху г) (північно-східний і південно-західний схил)

Азимут схилу, А	Висота Сонця, Н											
	10°	20°	30°	40°	50°	64°	50°	40°	30°	20°	10°	
	К	К	К	К	К	К	К	К	К	К	К	К
Пн.Сх 45°	0,72463	0,775875	0,794675	0,782815	0,739201	0,584826	0,202772	0,094757	0,00829	0	0	
Пд.Зх 225°	0	0	0	0,201993	0,434448	0,950524	0,970876	0,890051	0,757754	0,579459	0,358228	

### Результати та їх обговорення

Виконане дослідження наочно ілюструє, як орієнтація даху будівлі впливає на потенціал використання сонячної енергії. Результати розрахунків коефіцієнта сонячної енергії К та величини сонячної енергії Ес для різних варіантів орієнтації двоскатного даху дозволяють зробити такі висновки.

1. Перший варіант Схід-Захід характеризується максимальною ефективністю: східний (90°) та західний (270°) схили отримують найбільше сонячної енергії. Це пояснюється тим, що на них потрапляє пряме сонячне проміння під найбільш вигідним кутом у піковий час (ранішні години для сходу, вечірні – для заходу). При цьому середнє значення отримуваної величини сонячної енергії Ес складає 1,19 кВт·год/м<sup>2</sup>.

2. Другий варіант Північ-Південь виявився не таким ефективним. У нашому випадку південна сторона (180°

показала результат майже в 2 рази гірший за схід-захід (Ес = 0,62 кВт·год/м<sup>2</sup>). Це пояснюється тим, що на південному схилі менша тривалість періоду максимальних коефіцієнтів сонячної енергії К порівняно зі східним чи західним схилом (див. табл. 1-2).

Мінімальна ефективність північного схилу (0°), для якого Ес = 0,56 кВт·год/м<sup>2</sup> є очікуваною, оскільки цей схил отримує переважно розсіяне світло.

Діагональне орієнтування даху передбачає такі два варіанти: південний схід-північний захід та північний схід-південний захід. Тут схили розгорнуті під кутом 45° до основних осей (азимуту 45°, 135°, 225°, 315°).

3. У першому випадку південний схід (135°) від сходу Сонця до полудня, а північний захід (315°) від полудня до заходу Сонця забезпечують отримання приблизно однакової кількості сонячної енергії – близько 1,0 кВт·год/м<sup>2</sup>.

## 5. Результати дослідження

	Орієнтація даху	Період доби	Середнє значення коефіцієнта К за день	Середнє значення сонячної енергії Ес за день, кВт·год/м <sup>2</sup>	Сумарне значення сонячної енергії Ес за день, кВт·год/м <sup>2</sup>		Характеристика
1	Схід	схід Сонця –полудень	0,874	1,19	9,52	19,04	Максимальна ефективність
	Захід	полудень – захід Сонця	0,874	1,19	9,52		Максимальна ефективність
2	Північ	схід Сонця – захід Сонця	0,410	0,56	8,96	18,88	Мінімальна ефективність
	Південь	схід Сонця – захід Сонця	0,458	0,62	9,92		Недостатня ефективність
3	Південний схід	схід Сонця –полудень	0,751	1,02	8,16	16,16	Рівномірність
	Північний захід	полудень – захід Сонця	0,734	1,00	8		Рівномірність
4	Північний схід	схід Сонця –полудень	0,734	1,00	8	16,16	Рівномірність
	Південний захід	полудень – захід Сонця	0,751	1,02	8,16		Рівномірність

4. У другому випадку північний схід (45°) від сходу Сонця до полудня, а південний захід (225°) від полудня до заходу Сонця, показали схожий результат – 1,02 кВт·год/м<sup>2</sup>.

Це вказує на те, що таке орієнтування даху можна рекомендувати для стабільної генерації електроенергії в автономних системах, де важливо мати рівномірний приплив енергії впродовж усього світлового дня, без екстремальних піків та провалів.

У табл. 5 наведено порівняння отриманих результатів.

### Висновки

Згідно з отриманими результатами дослідження, найефективнішим варіантом орієнтації двоскатного даху для подальшого встановлення сонячних батарей є варіант Схід – Захід, оскільки він дозволяє забезпечити максимальний виробіток сонячної енергії впродовж світлового дня. При цьому східна сторона даху буде «працювати» від сходу Сонця до полудня, а західна, від-

повідно, від полудня до заходу Сонця.

Щодо орієнтації даху Північ – Південь, то результати вказують, що південний схил даху матиме досить короткочасний пік (кілька годин) близько полудня, коли коефіцієнт освітленості буде максимальним, що є недостатнім для високого рівня ефективності впродовж усього світлового дня. Північний схил очікувано має найнижчий рівень освітленості й, відповідно, найнижчу ефективність.

Обидва варіанти діагональної орієнтації дозволяють забезпечити рівномірне надходження сонячної енергії впродовж світлового дня. Отримані результати можуть бути використані при проектуванні забудови населених пунктів. Наведені результати приблизно збігаються з [5], але є кількісними і теоретично обґрунтованими.

Подальші дослідження порушеної нами проблеми можуть бути пов'язані з визначенням величин інсоляції куполоподібного та плоского даху залежно від висоти Сонця над горизонтом та широти місцевості, а також

апробацією результатів нашого дослідження на реальних територіях із застосуванням ГІС-технологій.

### Список використаної літератури

1. Де винайшли сонячні панелі. URL: <https://www.ecotech.ua/de-vynajshly-sonyachni-paneli/> (дата звернення: 27.04.2026).
2. Кравець О. Я. Вплив рельєфу земної поверхні на гідрологічні та ерозійні процеси в Прикарпатті. Автореф. дис. ... канд. техн. наук. Львів, 2006. 20 с.
3. Левченко О. М., Шинкаренко Г. А. Моделювання процесів поглинання сонячної енергії ділянками реальної місцевості. *Геодезія, картографія і аерофотознімання*. 2003. Вип. 63. С. 241–245. URL: <https://science.lpnu.ua/istcgcap/all-volumes-and-issues/volume-63-2003/modeling-solar-energy-absorption-processes-real> (дата звернення: 27.04.2026).
4. Маковецький Б. І., Дяченко О. С., Трошин М. Ю. Розробка методики обстеження технічного стану дахів житлових будинків для розташування електричних сонячних батарей. *Український журнал будівництва та архітектури*. 2024. № 1 (1). С. 99–129. DOI: <https://doi.org/10.30838/J.BPSACEA.2312.270224.99.1029>.
5. Оцінка енергії сонячного випромінювання. URL: <http://eco-electrics.com.ua> (дата звернення: 27.04.2026).
6. Рудий Р. М., Кисельов Ю. О., Кравець О. Я. До аналізу зсувних процесів на території Національного дендрологічного парку «Софіївка» з використанням ГІС-технологій. *Вісник Уманського національного університету садівництва*. 2020. № 2. С. 130–133. DOI: <https://doi.org/10.31395/2310-0478-2020-2-130-133>.
7. Юрін Ю., Зигун А., Галінська Т., Аврменко Ю. Визначення умов інсоляції та вибір оптимальної орієнтації житлових будинків. *Галузеве машинобудування, будівництво*. 2021. № 1 (56). С. 87–97. DOI: <https://doi.org/10.26906/znp.2021.56.2512>.
8. Ebhota W. S., Tabakov P. Y. Roof orientation as a determinant of solar PV efficiency in sustainable smart city development. *Journal of Umm Al Qura University for Engineering and Architecture*. 2026. DOI: <https://doi.org/10.1007/s43995-025-00275-1>.
9. Hamidi S., Asfour O. S. Design strategies for building integrated photovoltaics in high rise buildings: a systematic review. *Architecture*. 2025. Vol. 5, No. 4. P. 118. DOI: <https://doi.org/10.3390/architecture5040118>.
10. Kasiyanchuk D., Kuzmenko E., Tymkiv M., Vitiuk A. Geo-information modelling of the insolation level within Ivano-Frankivsk region. *Journal of Geology, Geography and Geoecology*. 27, 2. 2018. P. 222–231. DOI: <https://doi.org/10.15421/111847>.
11. Kereush D., Perovych I. Determining criteria for optimal site selection for solar power plants. *Geomatics, Landmanagement and Landscape*. 2017. Vol. 4. P. 39–54. DOI: <http://dx.doi.org/10.15576/GLL/2017.4.39>.
12. Kyselov Yu. O., Rudyi R. M., Kravets O. Ya., Borovyk P. M., Parakhnenko V. H. To the consideration of territory relief features in the land cadastre. *Geodesy, Cartography and Aerial Photography*. 2025. Vol. 101. P. 35–43. DOI: <https://doi.org/10.23939/istcgcap2025.101.035>.
13. Li H. X., Zhang Y., Edwards D. et al. Improving the energy production of rooftop solar PV systems through roof design. *Building Simulation*. 2020. Vol. 13, No. 2. P. 475–487. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12273-019-0585-6>.
14. Manani R., Nursaniah C., Caesarina I. The influence of building orientation on thermal performance in Palapa Village housing, Lhokseumawe. *International Journal of Architecture, Arts and Applications*. 2026. Vol. 12, No. 1. P. 1–16. DOI: <https://doi.org/10.11648/j.ijaaa.20261201.11>.
15. Miao Y., Liu P., Fu I. C. S., Lei Q., Lau S. S. Y.,

Tao Y. The study of architectural geometry and shape in the energy balance of glazed roofs. *Buildings*. 2022. Vol. 12, No. 10. P. 1550. DOI: <https://doi.org/10.3390/buildings12101550>

---

### References

1. De vynajshly soniachni paneli [Where solar panels were invented]. (n.d.). Available at: <https://www.ecotech.ua/de-vynajshly-sonyachni-paneli/>
2. Kravets, O. Ya. (2006). Vplyv reljefu zemnoii poverkhni na hidrohichni ta eroziini protsesy v Prykarpatti [The influence of the land surface relief on hydrological and erosion processes in Pre-Carpathian region]. Autoref. Cand. Tech. sciences. Lviv.
3. Levchenko, O. M., & Shynkarenko, H. A. (2003). Modeliuvannya protsesiv pohlynnannya soniachnoi enerhii dliankamy realnoi mistsevosti [Modeling solar energy absorption processes for real terrain areas]. *Heodeziia, kartohrafiia i aerofotozнимання*, 63, 241–245. Available at: <https://science.lpnu.ua/istcgcap/all-volumes-and-issues/volume-63-2003/modeling-solar-energy-absorption-processes-real>
4. Makovetskyi, B. I., Diachenko, O. S., & Troshyn, M. Yu. (2024). Rozrobka metodyky obstezhennia tekhnichnoho stanu dakhiv zhytlovykh budynkiv dlia roztashuvannya elektrychnykh soniachnykh bateri [Development of a methodology for assessing roof condition for solar panel placement]. *Ukrainskyi zhurnal budivnytstva ta arkhitektury*, 1(1), 99–129. DOI: <https://doi.org/10.30838/J.BPSA-CEA.2312.270224.99.1029>
5. Otsinka enerhii soniachnoho vyprominiuvannya [Assessment of solar radiation energy]. (n.d.). Available at: <http://eco-electrics.com.ua>
6. Rudyi, R. M., Kyselov, Yu. O., & Kravets, O. Ya. (2020). Do analizu zsvnykh protsesiv na terytorii Natsionalnoho dendrohichnoho parku “Sofiivka” z vykorystanniam HIS-tekhnologii [Analysis of landslide processes in Sofiivka park using GIS technologies]. *Visnyk Umanskoho natsionalnoho universytetu sadivnytstva*, 2, 130–133. DOI: <https://doi.org/10.31395/2310-0478-2020-2-130-133>
7. Yurin, Yu., Zyhun, A., Halinska, T., & Avramenko, Yu. (2021). Vyznachennia umov insoliatsii ta vybir optymalnoi oriientsatsii zhytlovykh budynkiv [Determining insolation conditions and optimal building orientation]. *Haluzeve mashynobuduvannya, budivnytstvo*, 1(56), 87–97. DOI: <https://doi.org/10.26906/znp.2021.56.2512>
8. Ebhota, W. S., & Tabakov, P. Y. (2026). Roof orientation as a determinant of solar PV efficiency in sustainable smart city development. *Journal of Umm Al Qura University for Engineering and Architecture*. DOI: <https://doi.org/10.1007/s43995-025-00275-1>
9. Hamidi, S., & Asfour, O. S. (2025). Design strategies for building integrated photovoltaics in high rise buildings: A systematic review. *Architecture*, 5(4), 118. DOI: <https://doi.org/10.3390/architecture5040118>
10. Kasiyanchuk, D., Kuzmenko, E., Tymkiv, M. & Vitiuk, A. (2018). Geo-information modelling of the insolation level within Ivano-Frankivsk region. *Journal of Geology, Geography and Geoecology*. 27, 2, 222–231. DOI: <https://doi.org/10.15421/111847>
11. Kereush, D., & Perovych, I. (2017). Determining criteria for optimal site selection for solar power plants. *Geomatics, Landmanagement and Landscape*, 4, 39–54. DOI: <http://dx.doi.org/10.15576/GLL/2017.4.39>
12. Kyselov, Yu. O., Rudyi, R. M., Kravets, O. Ya., Borovyk, P. M., & Parakhnenko, V. H. (2025). To the consideration of territory relief features in the land cadastre. *Geodesy, Cartography and Aerial Photography*, 101, 35–43. DOI: <https://doi.org/10.23939/istcgcap2025.101.035>

13. Li, H. X., Zhang, Y., Edwards, D., et al. (2020). Improving the energy production of roof-top solar PV systems through roof design. *Building Simulation*, 13(2), 475–487. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12273-019-0585-6>
14. Manani, R., Nursaniah, C., & Caesarina, I. (2026). The influence of building orientation on thermal performance in Palapa Village housing, Lhokseumawe. *International Journal of Architecture, Arts and Applications*, 12(1), 1–16. DOI: <https://doi.org/10.11648/j.ijaaa.20261201.11>
15. Miao, Y., Liu, P., Fu, I. C. S., Lei, Q., Lau, S. Y., & Tao, Y. (2022). The study of architectural geometry and shape in the energy balance of glazed roofs. *Buildings*, 12(10), 1550. DOI: <https://doi.org/10.3390/buildings12101550>
- 

**Rudyi R., Kyselov Yu., Kravets O., Borovyk P., Shemiakin M.**

**CALCULATION OF THE ILLUMINANCE COEFFICIENT AND ENERGY PERFORMANCE OF BUILDINGS IN THE DESIGN OF URBAN DEVELOPMENT.**

LAND MANAGEMENT, CADASTRE AND LAND MONITORING 2'26: 89-99.

<http://dx.doi.org/10.31548/zemleustriy2026.02.06>

**Abstract.** *Abstract. The use of solar panels as a source of energy supply, not only for industrial enterprises but also for private buildings, began in Ukraine in the early twenty-first century. Widespread adoption became evident approximately a decade later, when the number of households equipped with solar power systems increased rapidly following the introduction of the so-called “green tariff”. The necessity for autonomous energy supply for individual houses has become even more acute in the context of the ongoing war.*

*The object of this research may be considered the aspect (orientation) of the slopes of gable roofs in the spatial planning of residential areas, while the aim is to determine the amount of solar radiation incident on roof surfaces of different orientations equipped with photovoltaic panels.*

*The article sets the task, based on the principles of geodetic astronomy, of determining optimal parameters for the orientation of solar panels installed on building roofs in order to maximise electricity generation. The calculations were performed for the day of the summer solstice under the conditions of the city of Ivano-Frankivsk. The value of the optimal roof pitch angle was adopted from existing literature sources. The conducted study illustrates how roof orientation affects the potential for solar energy utilisation. The calculated values of the solar energy coefficient  $K$  and the amount of solar energy  $E$  for different orientation scenarios of gable roofs enable the formulation of relevant conclusions.*

*The results of the study indicate that the optimal orientation of roof slopes for the installation of small-scale energy systems is the east–west configuration, which allows for maximising solar energy generation throughout the daylight period. In this case, the east-facing slope is active from sunrise until noon, while the west-facing slope is active from noon until sunset. In contrast, with a north–south roof orientation, the southern slope exhibits increased activity only for a relatively short period around midday, which is insufficient to ensure high efficiency throughout the entire daylight period. As expected, the northern slope receives the least solar radiation and, consequently, demonstrates the lowest efficiency in electricity generation. Roofs with diagonal orientations (north–west–south–east or north–east–south–west) provide a more uniform distribution of solar radiation throughout the day.*

**Keywords:** *urban development planning, autonomous energy supply, solar energy, building roof, illumination coefficient.*

---

## ГЕОДЕЗИЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МОНІТОРИНГУ ДЕФОРМАЦІЙ ЗЕМЕЛЬ У КОНТЕКСТІ ТЕХНОГЕННИХ НАВАНТАЖЕНЬ ТА КЛІМАТИЧНИХ ТРАНСФОРМАЦІЙ

---

**А.В. ЧУГАЙ,**

доктор технічних наук,

Email: [avchugai@ukr.net](mailto:avchugai@ukr.net)

ORCID: 0000-0002-8091-8430

**М.Г. СЕРБОВ,**

доктор економічних наук,

Email: [serbovng@gmail.com](mailto:serbovng@gmail.com)

ORCID: 0000-0002-0220-6745

**Н.В. ДАНИЛОВА,**

кандидат географічних наук,

Email: [nataliadanilova0212@gmail.com](mailto:nataliadanilova0212@gmail.com)

ORCID: 0000-0003-4595-1208

Одеський національний університет ім. І.І. Мечникова

**Анотація.** статті розглянуто питання геодезичного забезпечення моніторингу деформацій земної поверхні, спричинених техногенним тиском та кліматичними змінами, що є важливою умовою для запобігання деградації ґрунтів і сталого розвитку територій. Мета роботи полягає у комплексному дослідженні системи геодезичного забезпечення як фундаментальної основи для отримання просторових даних, необхідних для оцінювання та прогнозування динаміки стану земельних ресурсів. Об'єктом для практичної апробації запропонованих рішень слугували ерозійно-небезпечні сільськогосподарські угіддя Мізоцької територіальної громади Рівненської області. У роботі проаналізовано алгоритм здійснення геодезичного моніторингу, що охоплює підготовчі і польові роботи, камеральне опрацювання, ГІС-моделювання просторових змін та етап прийняття управлінських рішень. Акцентовано увагу на тому, що кожна стадія потребує інтеграції специфічних інструментальних методів і топографо-геодезичних процедур для високоточної фіксації просторових зрушень рельєфу та ґрунтового покриву у часі. Деталізовано принципи формування моніторингової основи. Зокрема, сформульовано базові критерії проектування геодезичних мереж: розбивка профільних ліній, надійна фіксація щонайменше двох опорних

*реперів поза зоною ймовірних деформацій та оптимальне розміщення робочих станцій безпосередньо в межах ділянки ризику.*

*Доведено практичну цінність систематичних наземних геодезичних вимірювань для своєчасної ідентифікації ерозійних осередків та ґрунтових зрушень. Накопичений масив верифікованих просторових даних створює достовірне підґрунтя для розроблення ефективних меліоративних заходів і прийняття управлінських рішень у сфері охорони земель громади. Перспективи подальших наукових розвідок полягають в адаптації інструментарію деформаційного моніторингу до інших типів ландшафтів та специфічних режимів використання територій.*

**Ключові слова:** *геодезичне забезпечення, моніторинг, землекористування, деформація земель, техногенне навантаження, кліматичні зміни, ГІС, GNSS, БПЛА.*

---

### **Актуальність**

В останні десятиліття деформація земної поверхні перетворилася на значну загрозу для безпеки функціонування інженерної інфраструктури та просторового розвитку територій, оскільки створює ризики руйнування об'єктів і порушення умов ведення господарської діяльності. Це поширене небезпечне явище, яке може спричинити низку серйозних наслідків, зокрема: підвищення ризику затоплення прибережних територій, пошкодження будівель та інфраструктури, порушення гідрогеологічного режиму ґрунтових вод, утворення зсувів тощо. Прояви небезпечних процесів, пов'язаних із деформацією земної поверхні, систематично фіксуються як у світі, так і в Україні. З огляду на це, здійснення безперервного моніторингу деформаційних процесів є фундаментальною умовою для глибокого розуміння динаміки земної поверхні та управління відповідними ризиками з метою забезпечення безпечного використання територій та інфраструктури. Особливої актуальності ця проблема набуває в регіонах зі складними гідрогеологічними умовами та переважанням сільсько-

господарських угідь (наприклад, у зоні Лісостепу та Степу України), де водна ерозія та зміни рівня ґрунтових вод безпосередньо впливають на продуктивність земель. Для своєчасного виявлення й оцінки цих процесів, а також запобігання їм, виникає потреба у проведенні безперервного геодезичного моніторингу в зонах потенційного ризику..

### **Аналіз останніх досліджень та публікацій**

Питанням геодезичного забезпечення моніторингу та охорони земель присвячені праці багатьох вітчизняних та зарубіжних вчених. Аналіз сучасних публікацій дозволяє виділити кілька ключових напрямів досліджень у цій сфері. Теоретико-методологічні засади геодезичного моніторингу розкривають праці [1, 2, 3], у яких визначають ґрунтовні підходи до фіксації деформацій земної поверхні. Зокрема, Д. Хайнус та співавтори [1] аналізують сучасні методи вищої геодезії та їхню прикладну цінність для визначення просторових зміщень. О. Доброходова та колеги [2] узагальнюють теоретичні аспекти деформаційного моніторингу як для природних, так і для антропогенних

процесів. Міжнародний досвід та еволюцію підходів до спостережень за деформаціями земель систематизовано в оглядовій праці А. Ng та ін. [3], що підкреслює глобальну актуальність проблеми. У науковій статті Н. Колеснік та М. Кожем'яко детально висвітлено значення геодезичних спостережень для розрахунку та аналізу деформацій земної поверхні у зоні впливу гірничих робіт [4].

Значний масив досліджень присвячено вивченню впливу техногенного навантаження та локальних геопроцесів на деформацію земель. Так, О. Намінат у своєму дисертаційному дослідженні [5] вирішує складну науково-практичну задачу геодезичного моніторингу лінійних об'єктів, які знаходяться в зонах безпосереднього впливу підземних гірничих робіт. Регіональний аспект небезпечних геопроцесів (зокрема, зсувів) аналізують Д. Булишева та співавтори [6] на прикладі прибережної смуги Чорноморського узбережжя для запобігання ризикам надзвичайних ситуацій. Урбанізованим територіям, які зазнають комплексного антропогенного тиску, присвячено монографію Р. Шевченка [7], у якій розглянуто інструментарій екологічного моніторингу на прикладі міста Києва.

Визначальною тенденцією сучасного етапу є перехід від традиційних геодезичних вимірювань до комплексного використання масивів просторових даних на базі ГІС-технологій та методів дистанційного зондування Землі (ДЗЗ). Так, О. Браславська [8] досліджує ефективність застосування ГІС-технологій та даних ДЗЗ для відстеження динаміки змін у землекористуванні на значних площах. Більш вузькоспеціалізований, але ви-

сокоточний інструмент – супутникову радарну інтерферометрію – розглядають Ү. Aimaiti та ін. [9], доводячи її ефективність для виявлення міліметрових деформацій земної поверхні.

Моніторинг в умовах військової агресії та постконфліктного відновлення став окремим, актуальним напрямом для української науки. Дослідження стану земель під впливом бойових дій Г. Домашенко та співавторів [10] обґрунтовує необхідність спеціалізованого геодезичного забезпечення для моніторингу змін землекористування в умовах воєнного стану та під час постконфліктного відновлення територій. Цю ж проблематику доповнюють М. Сербов, Н. Данілова та В. Пилип'юк [11], які пропонують методологічні засади застосування ДЗЗ безпосередньо у зонах бойових дій, де традиційні наземні геодезичні вимірювання є небезпечними або неможливими.

Незважаючи на значну кількість ґрунтовних праць, присвячених високоточним вимірюванням, ДЗЗ та геоінформаційному аналізу, більшість із них фокусує увагу на індустріальних об'єктах (гірничі відводи, міста), або на макрорегіональних змінах. Водночас питання інтеграції цих сучасних технологій безпосередньо в практику землевпорядкування сільськогосподарських угідь для локального моніторингу ерозійних процесів та деградації ґрунтів є недостатньо розкритим і потребує подальших досліджень.

*Метою статті* є дослідження системи геодезичного забезпечення як базової складової для збору просторових даних, оцінки та прогнозування деформацій земельних ресурсів в умовах техногенного та кліматичного впливу.

Наукова новизна дослідження полягає в удосконаленні системи геодезичного забезпечення моніторингу деформацій локального рівня, адаптованої до потреб еколого-економічної охорони сільськогосподарських земель. На відміну від традиційних підходів, орієнтованих переважно на індустріальні та урбанізовані території, у дослідженні обґрунтовано комплексне застосування високоточних наземних геодезичних вимірювань як первинного інструменту для фіксації просторових зрушень ґрунту та оцінки стійкості протиерозійних гідротехнічних споруд в умовах мінливого кліматичного впливу.

### ***Матеріали і методи дослідження***

Інформаційною та матеріальною базою дослідження слугували праці вітчизняних і зарубіжних вчених у галузі землеустрою, геодезії та геоінформатики. У дослідженні використано комплекс загальнонаукових та спеціальних методів. За допомогою методу системного аналізу досліджено сучасний стан та структуру геодезичного забезпечення для фіксації деформаційних процесів. Порівняльний метод застосовано для оцінки ефективності інтеграції даних дистанційного зондування Землі з наземними вимірюваннями. Метод концептуального моделювання використано для розробки структурно-логічної схеми обробки просторових даних у середовищі відкритих ГІС для прогнозування розвитку ерозійних процесів в умовах кліматичних змін. Формування висновків та теоретичних узагальнень здійснено з використанням абстрактно-логічного підходу.

### ***Результати дослідження та їх обговорення***

Інтенсивне сільськогосподарське використання земель у поєднанні з кліматичними аномаліями (зміна структури опадів у холодний період, тривалі посухи, стихійні лиха) призводить до активізації екзогенних процесів: площинного змиву, яроутворення та просідання ґрунтів. Для своєчасного виявлення цих явищ необхідне проведення моніторингу деформацій земель. Моніторинг включає ряд етапів, що формують замкнений цикл геоекологічного контролю: інвентаризацію існуючого стану земель, інструментальну фіксацію деформаційних зсувів або зрушень, математичне моделювання їхнього подальшого розвитку та розробку проєктів землеустрою, що забезпечують еколого-економічну охорону сільськогосподарських ландшафтів (табл. 1).

Кожний етап вимагає геодезичне забезпечення, яке розглядається як комплекс спеціалізованих топографо-геодезичних робіт, інструментальних методів та сучасних технологій, спрямованих на систематичне спостереження, високоточне вимірювання та просторовий аналіз змін (зміщень) земної поверхні, ґрунтового покриву та інженерних споруд у часі [1]. В основу кожного етапу покладено виконання спеціалізованих топографо-геодезичних робіт.

Під час підготовчого етапу моніторингу деформацій земель топографо-геодезичні роботи спрямовані на створення моніторингової основи, а саме: проєктування, закладання та розвиток спеціальних опорних (вихідних) і деформаційних (робочих) геодезичних мереж у межах досліджуваних територій.

## 1. Етапи моніторингу деформацій земель

Етапи	Характеристика
Підготовчий етап	аналіз архівних картографічних і фондових матеріалів, даних попередніх ґрунтових обстежень та проектування мережі спостережень.
Збір просторових даних (польовий етап)	проведення високоточних геодезичних вимірювань (GNSS-знімання), аерофотознімання за допомогою БПЛА, мобільного лазерного сканування (LiDAR) та завантаження актуальних супутникових знімків.
Камеральна обробка та ГІС-аналіз	опрацювання даних у спеціалізованому програмному забезпеченні (наприклад, QGIS чи Digitals), побудова високоточних цифрових моделей рельєфу (ЦМР) та виявлення просторових відхилень шляхом накладання різночасових моделей.
Моделювання та прогнозування	просторовий аналіз динаміки деформацій, розрахунок обсягів втраченого або зміщеного ґрунту та побудова прогнозних 3D-моделей розвитку екзогенних процесів.
Прийняття рішень (заключний етап)	формування тематичних карт просторових змін та розробка обґрунтованих рекомендацій щодо впровадження протиерозійних і мелоративних заходів.

Моніторингова основа – це спеціально створена мережа закріплених на місцевості пунктів, які слугують «системою координат» або нерухомим базисом для всіх подальших вимірювань. Опорні пункти є надійною базою для всієї системи спостережень і мають зберігати свої просторові координати незмінними протягом тривалого часу. Деформаційні (робочі) пункти – це пункти (репери, марки), які встановлюють безпосередньо в зоні, де відбуваються процеси: на схилах, що розмиваються, у ярах або на ділянках просідання. Вони «рухаються» разом із землею. Вимірюючи різницю в їхніх координатах порівняно з минулим циклом, визначають швидкість і напрямок деформації. Проектування мережі спостережень здійснюється відносно державної геодезичної мережі (для визначення координат пунктів) та особливостей місцевості (однорідності геологічної будови товщі порід, рельєфу місцевості, технологічних зон, передбачуваних ділянок максимальних навантажень). Мережу будують у формі профільних ліній, на кожному кінці яких закладають, щонайменше два опорних пункти (репери), які розта-

шовують за межами зони ймовірних деформацій, а робочі – розміщують по периметру і безпосередньо в межах досліджуваної території [6].

Збір просторових даних (польовий етап) передбачає проведення періодичних (циклічних) вимірювань просторових координат за допомогою GNSS-технологій, електронних тахеометрів та високоточного нівелювання для фіксації навіть міліметрових зміщень. Інструментальні спостереження включають: нівелювання всіх реперів; вимір відстаней між реперами вздовж профільних ліній; зйомку тріщин, що утворились на поверхні; виміри деформацій об'єктів. Зазначимо, що деформація – це зміна координат у часі, тому геодезія проявляється у циклічності та точності. Достовірність результатів геодезичних вимірювань безпосередньо залежить від точності застосованих методів (табл. 2) [12].

Планові координати (X,Y) визначають за допомогою двочастотних GNSS-приймачів у статичному режимі для базових ліній та в режимі RTK для швидкого контролю робочих марок. Середньоквадратична похибка планових вимірювань не по-

## 2. Порівняльна характеристика точності інструментальних геодезичних методів при моніторингу деформацій земель

Метод / Прилад	Умови вимірювання	Очікувана точність
Нівелір високоточний	Нівелювання ліній	0,3–0,5 мм/км
Нівелір цифровий	Нівелювання ліній	0,3–1,0 мм/км
Нівелір середньої точності	Нівелювання ліній	1,0–3,0 мм/км
Електронний тахеометр	Лінійно-кутові виміри (до кількох км)	1–5 см
GNSS-приймач (RTK / DGPS)	Наявність мережевих поправок і гарного сигналу	0,5–3,0 см
GNSS-приймач (Автономно)	Поодинокі позиціонування без корекцій	3–10 м
Наземний лазерний сканер (TLS)	Створення високоточних 3D-моделей локальних ділянок	1–5 мм
Мобільне сканування / БПЛА (LiDAR)	Залежить від якості калібрування системи та дальності знімання	1–10 см

винна перевищувати 10–15 мм. Для високоточної фіксації вертикальних просідань застосовують геометричне нівелювання II класу цифровими нівелірами по інварних рейках, що забезпечує міліметрову точність.

Для підвищення достовірності та інтерпретаційної надійності результатів супутникових вимірів, наземних методів (тахеометрії та геометричного нівелювання) використовують аерофотозйомку з безпілотних літальних апаратів, що дозволяє уточнювати модель рельєфу та виявляти локальні зміни форми поверхні місцевості. БПЛА-знімання проходить за схемою: створення мережі наземних опорних точок, координати яких визначають GNSS-ровером; виконання польотного завдання з поздовжнім та поперечним перекриттям знімків не менше 75–80%; фотограмметричне опрацювання: побудова щільної хмари точок та генерування високоточної цифрової моделі рельєфу (ЦМР) з просторовою розрізненістю 2–5 см/піксель. Побудова високоточних та деталізованих цифрових моделей рельєфу й об'єктів місцевості відбувається за допомогою техноло-

гії лазерного сканування, або LiDAR (Light Detection and Ranging). Цей метод є ефективним для аналізу наслідків землетрусів, зсувів, селевих потоків тощо. Крім того, він дозволяє відстежувати навіть незначні деформації схилів, які можуть передувати ерозійним процесам [13].

Камеральну обробку та ГІС-аналіз результатів спостережень проводять безпосередньо після завершення кожної серії вимірювань і передбачають: перевірку польових журналів; обчислення висотних відміток усіх реперів спостережної станції; обчислення горизонтальних відстаней між реперами профільних ліній; визначення відстаней від опорного репера до кожного з реперів профільної лінії станції; складання відомостей за кожною профільною лінією (щодо вертикальних і горизонтальних зсувів реперів, а також горизонтальних деформацій – розтягу та стиску); створення графічних матеріалів. Позначки реперів після обробки кожної серії спостережень заносяться до відомостей вертикальних зрушень.

Зазначимо, що на етапі просторового аналізу, моделювання та про-

гнозування опрацьовані результати GNSS-спостережень спрямовані на отримання достовірної інформації щодо характеру та динаміки деформацій. Для забезпечення цього виконується перевірка повноти вихідних даних, аналіз стійкості супутникових рішень та виявлення аномальних значень координат. При цьому особлива увага приділяється виключенню впливу випадкових помилок, відбитих сигналів та короточасних перешкод. Відповідно застосовують процедури фільтрації та згладжування часових рядів координат. Після очищення даних кожного пункту формують тимчасові залежності вертикальних і горизонтальних зрушень. На основі отриманих часових рядів визначають накопичені деформації та середні швидкості переміщень. Аналіз динаміки дозволяє виявляти ділянки з прискоренням просідань або зрушень, що може свідчити про несприятливі зміни стану масиву [12].

Обчислення різниці координат реперів між нульовим (вихідним) та поточним циклами спостережень визначають за формулою.

$$\Delta X = X_i - X_0; \Delta Y = Y_i - Y_0, \quad (1)$$

де:  $\Delta X$ ,  $\Delta Y$  – величина різниці координат реперів, мм;

$X_i$ ,  $Y_i$  – координата репера поточного циклу, м;

$X_0$ ,  $Y_0$  – координата репера нульового (вихідного) циклу, м.

$$\Delta H = H_i - H_0, \quad (2)$$

де:  $\Delta H$  – величина різниці висоти репера, мм;

$H_i$  – висота репера поточного циклу, м;

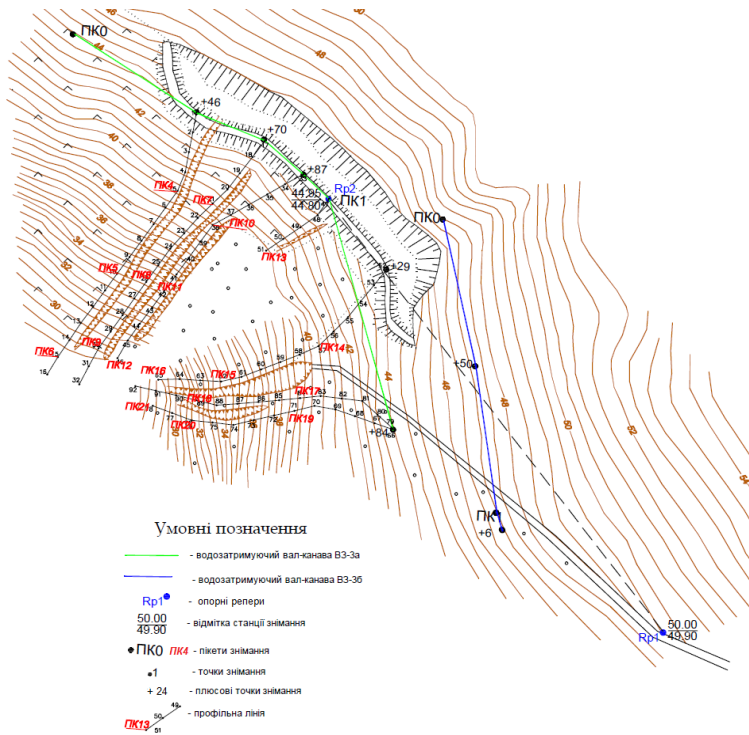
$H_0$  – висота репера нульового (вихідного) циклу, м.

На основі цих даних будуються

вектори зміщень, що характеризують напрямок і швидкість руху ґрунтових мас.

На заключному етапі результати моніторингу перетворюють на картографічну форму для наочного подання інформації. Карти деформацій дозволяють візуально виділяти зони підвищеної активності та служать основою для прийняття інженерних рішень щодо коригування технологічних процесів та посилення контролю.

Практичні результати моніторингу деформацій земної поверхні представлено на прикладі ерозійно-небезпечних земель Мізоцької територіальної громади Рівненської області. Об'єкт спостереження – земельна ділянка, що належить до земель сільськогосподарського призначення. У 2020 році були побудовані протиерозійні гідротехнічні споруди (водозатримувальні вали) та проведено засипання ярів. Мета моніторингу – перевірка ділянок щодо наявності деформаційних процесів (просідань ґрунту) у місцях засипаних ярів та оцінка просторової стійкості збудованих гідротехнічних споруд. Для цього створено моніторингову основу, яка включала опорну (вихідну) і деформаційну (робочу) геодезичні мережі в межах досліджуваних територій (рис. 1). На кінцях профільної лінії, у верхній частині яру на безпечній відстані (близько 40 м від бровки яру та зони ймовірного осідання), було закладено два опорні репери ( $Rp1$  та  $Rp2$ ). Їх розташували з таким розрахунком, щоб при подальшому зростанні яру вони не були зруйновані. Координати реперів визначені за результатами GNSS-спостережень. Загальна довжина лінії спостережень уздовж побудованих протиерозійних гідротехнічних споруд та засипаних ярів становить 1210 м. Під час зніман-



**Рис. 1. Схема розбивки моніторингової основи ерозійно-небезпечних земель Мізоцької територіальної громади Рівненської області**

ня було використано 21 пікет (закладені через кожні 50 м) та 95 точок знімання (розміщені через кожні 10 м). Вивчення проявів ерозійних процесів та росту ярів здійснювалося методом тахеометричного знімання за допомогою електронного тахеометра. Висотні позначки реперів профільних ліній визначалися нівелюванням III класу. Камеральне опрацювання результатів спостережень проводилося безпосередньо після закінчення кожної серії вимірювань. Обчислені висотні позначки заносили до відомостей вертикальних зміщень. Після контрольних перевірок польових вимірювань обчислювалися зміщення та деформації поверхні, а також будувалися відповідні графіки.

За різницею координат реперів ( $\Delta X$ ,  $\Delta Y$ ,  $\Delta Z$ ) відносно їхнього вихідного положення визначено напрямок вектора зміщення у просторі, а за різницею горизонтальних прокладень  $\Delta S$  між реперами – оцінити деформацію (стиснення або розтягування) ділянки земної поверхні. Протягом чотирьох років проводились систематичні інструментальні спостереження за досліджуваними ділянками, з метою виявлення динаміки зміщень у часі (табл. 3).

Спостереження перших 4-х циклів зафіксували рівномірне осідання земної поверхні. За результатами аналізу графіку вертикального зміщення за всіма реперами профільних ліній встановлено, що після досягнення

### 3. Періоди інструментальних спостережень на створеній опорній геодезичній мережі

Цикл	Період	Цикл	Період
1-й цикл	листопад 2022	5-й цикл	серпень 2024
2-й цикл	травень 2023	6-й цикл	березень 2025
3-й цикл	грудень 2023	7-й цикл	жовтень 2025
4-й цикл	лютий 2024		

максимальної величини осідання відбувається стабілізація деформаційних процесів (рис. 2). Це підтверджує успішну ліквідацію ярів та просторову стійкість збудованих протиерозійних гідротехнічних споруд.

Поряд із вертикальними зміщеннями, для комплексної оцінки безпеки зведених протиерозійних гідротехнічних споруд обов'язково досліджувалися планові зрушення (за осями X та Y). Урахування лише вертикальних деформацій є недостатнім, оскільки саме горизонтальний тиск ґрунтових мас несе загрозу зсуву та розриву тіла водозатримувальних валів. Однак аналіз результатів GNSS-спостережень та тахеометричного знімання засвідчив, що горизонтальні зміщення марок протягом усіх семи циклів не перевищували гранично допустимих похибок вимірювань

(у межах 10–15 мм). Це підтверджує відсутність небезпечних бокових зсувів ґрунту та доводить повну планову (горизонтальну) стійкість збудованих гідротехнічних споруд.

#### Висновки і пропозиції

Комплексне геодезичне забезпечення, що поєднує класичні інструментальні вимірювання (GNSS-технології, високоточне нівелювання) та сучасні методи просторового аналізу, є фундаментальною основою для моніторингу деформацій земної поверхні. Доведено, що інтеграція отриманих просторових даних у середовище ГІС дозволяє не лише з високою точністю фіксувати поточний стан ерозійно-небезпечних земель, але й здійснювати просторове моделювання та своєчасне виявлення негативних ек-

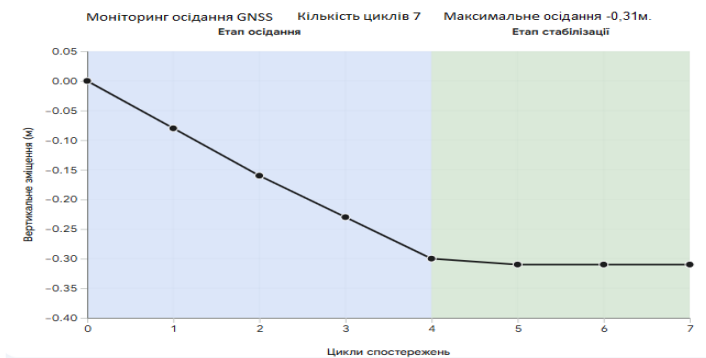


Рис. 2. Результати моніторингу вертикальних деформацій на ерозійно-небезпечних землях Мізоцької територіальної громади

зогенних процесів, зумовлених техногенним навантаженням і кліматичними змінами. Практична апробація запропонованої структури моніторингу на прикладі сільськогосподарських угідь Мізоцької територіальної громади підтвердила ефективність застосованих методів. Систематичні інструментальні спостереження, проведені протягом семи циклів, дозволили детально відстежити динаміку вертикальних зміщень у місцях ліквідованих ярів та зведених гідротехнічних споруд. Встановлено, що після періоду рівномірного осідання ґрунту (перші чотири цикли), з досягненням максимальної величини вертикального зміщення  $-0,31$  м, відбувається повна стабілізація деформаційних процесів. Отримані результати інструментально підтверджують успішну консолідацію ґрунтів, просторову стійкість збудованих протиерозійних споруд та загальну ефективність проведених меліоративних заходів. З практичної точки зору, результати інструментального геодезичного моніторингу є базовим метричним шаром для інтеграції у системи підтримки прийняття рішень (DSS) у сфері землевпорядкування. Використання верифікованих геодезичних даних дозволяє алгоритмам DSS автоматизувати оцінку ризиків деградації ґрунтів, моделювати сценарії розвитку ерозійних процесів та розраховувати необхідні обсяги превентивних меліоративних робіт, що загалом підвищує ефективність просторового управління територіями громад.

Подальші дослідження необхідні для адаптації інструментарію геодезичного моніторингу до специфічних умов різних типів ландшафтів і режимів землекористування.

### Список використаної літератури

1. Хайнус Д. Д., Могильний С. Г., Винограденко С. О., Капінос Н. О. Сучасні методи вищої геодезії та їх застосування в моніторингу деформацій земної поверхні. *Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту*. 2025. № 213. С. 101–115. DOI: <https://doi.org/10.18664/1994-7852.213.2025.341836>.
2. Доброходова О. В., Андрусак В. М., Сущенко В. О. Деформаційний моніторинг землі та природних процесів. *Науковий вісник будівництва*. 2025. № 112. С. 355–361. DOI: <https://doi.org/10.33042/2311-7257.2025.112.1.44>.
3. Ng A. H.-M., Ge L., Chang H.-C., Du Z. Geodetic monitoring for land deformation. *Remote Sensing*. 2023. Vol. 15. P. 283. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs15010283>.
4. Колеснік Н. А., Кожум'яко М. С. Геодезичний моніторинг деформацій земної поверхні та магістрального газопроводу в зоні впливу гірничих робіт. *Землеустрій, кадастр і моніторинг земель*. 2024. № 3. С. 123–133. DOI: <https://doi.org/10.31548/zemleustriy2024.03.010>.
5. Намінат О. С. Удосконалення методів геодезичного забезпечення моніторингу лінійних об'єктів в зонах впливу підземних гірничих робіт : дис. ... канд. техн. наук : 05.24.01. Львів, 2020. 197 с.
6. Булишева Д., Леонідова І., Малащук О., Варфоломеева О., Панасюк О. Забезпечення геодезичного моніторингу зсувів для запобігання ризикам надзвичайних ситуацій. *Архітектура та будівництво*. 2022. № 23. С. 138–147. DOI: <https://doi.org/10.31734/architecture2022.23.138>.
7. Шевченко Р. Ю. Інструментарій моніторингу довкілля міста Києва : монографія. Київ, 2020. 324 с.
8. Браславська О. В. ГІС-технології та дистанційне зондування у моніторингу змін землекористування. Містобудування та територіальне планування.

2025. № 89. С. 472–487. DOI: <https://doi.org/10.32347/2076-815x.2025.89.472-487>.
9. Aimaity Y., Yamazaki F., Liu W., Kasimu A. Monitoring of land-surface deformation in the Karamay oilfield, Xinjiang, China, using SAR interferometry. *Applied Sciences*. 2017. Vol. 7. P. 772. DOI: <https://doi.org/10.3390/app7080772>.
  10. Домашенко Г. Т., Молнар С. С., Прокопенко Н. І. Геодезичне забезпечення процесів моніторингу змін у структурі землекористування України в період збройної агресії росії та постконфліктного відновлення. *Землеустрій, кадастр і моніторинг земель*. 2025. № 2. С. 20–32. DOI: <https://doi.org/10.31548/zemleustriy2025.02.02>.
  11. Сербов М. Г., Данілова Н. В., Пилип'юк В. В. Застосування інтерферометрії дистанційного зондування для моніторингу деформацій земель у зонах бойових дій: методологічні засади та прикладні аспекти. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво*. 2025. Вип. 117 (2). С. 266–278. DOI: <https://doi.org/10.33744/0365-8171-2025-117.2-266-278>.
  12. Панасюк А. В., Шлапак В. О., Тарнавський Д. О., Шапар Я. Р. Інтеграція GNSS-технологій у систему геодезичного моніторингу та управління гірничим транспортом. *Технічна інженерія*. 2025. № 2 (96). С. 305–312. DOI: [https://doi.org/10.26642/ten-2025-2\(96\)-305-312](https://doi.org/10.26642/ten-2025-2(96)-305-312).
  13. Świąkała P., Gruszczyński W., Stoch T., Puniach E., Mrocheń D., Matwij W. UAV applications for determination of land deformations caused by underground mining. *Remote Sensing*. 2020. Vol. 12. P. 1733. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs12111733>.
  14. formatsii zemnoi poverkhni [Modern methods of higher geodesy and their application in monitoring land surface deformation]. *Zbirnyk naukovykh prats Ukrainського derzhavnogo universytetu zaliznychnoho transportu*, 213, 101–115. DOI: <https://doi.org/10.18664/1994-7852.213.2025.341836>
  2. Dobrokhodova, O. V., Andrusiak, V. M., & Sushchenko, V. O. (2025). Deformatsiyni monitorynh zemli ta pryrodnykh protsesiv [Deformation monitoring of land and natural processes]. *Naukovyi visnyk budivnytstva*, 112, 355–361. DOI: <https://doi.org/10.33042/2311-7257.2025.112.1.44>
  3. Ng, A. H.-M., Ge, L., Chang, H.-C., & Du, Z. (2023). Geodetic monitoring for land deformation. *Remote Sensing*, 15, 283. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs15010283>
  4. Kolesnik, N. A., Kozhumiako, M. S. (2024). Heodezychni monitorynh deformatsii zemnoi poverkhni ta mahistralnogo hazoprovodu v zoni vplyvu hirnychykh robit [Geodetic monitoring of land surface deformation and main gas pipeline in mining impact zones]. *Zemleustrii, kadastr i monitorynh zemel*, 3, 123–133. DOI: <https://doi.org/10.31548/zemleustriy2024.03.010>
  5. Naminat, O. S. (2020). Udoskonalennia metodiv heodezychnoho zabezpechennia monitorynhu liniinykh ob'ektiv v zonakh vplyvu pidzemnykh hirnychykh robit [Improvement of geodetic support methods for monitoring linear objects in underground mining impact zones] (PhD dissertation). Lviv.
  6. Bulysheva, D., Leonidova, I., Malashchuk, O., Varfolomeieva, O., & Panasiuk, O. (2022). Zabezpechennia heodezychnoho monitorynhu zsuviv dlia zapobihannia ryzykam nadzvychainykh sytuatsii [Ensuring geodetic monitoring of landslides to prevent emergency risks]. *Arkhitektura ta budivnytstvo*, 23, 138–147. DOI: <https://doi.org/10.31734/architecture2022.23.138>
- 

### References

1. Khainus, D. D., Mohylnyi, S. H., Vynohradenko, S. O., & Kapinos, N. O. (2025). Suchasni metody vyshchoi heodezii ta yikh zastosuvannia v monitorynhu de-

7. Shevchenko, R. Yu. (2020). Instrumentarii monitorynhu dovkillia mista Kyieva [Environmental monitoring tools of Kyiv city]. Kyiv. 324.
8. Braslavska, O. V. (2025). HIS-tekhnohii ta dystantsiine zonduvannia u monitorynhu zmin zemlekorystuvannia [GIS and remote sensing in land use change monitoring]. *Mistobuduvannia ta terytorialne planuvannia*, 89, 472–487. DOI: <https://doi.org/10.32347/2076-815x.2025.89.472-487>
9. Aimaiti, Y., Yamazaki, F., Liu, W., & Kasimu, A. (2017). Monitoring of land-surface deformation in the Karamay oilfield, Xinjiang, China, using SAR interferometry. *Applied Sciences*, 7, 772. DOI: <https://doi.org/10.3390/app7080772>
10. Domashchenko, H. T., Molnar, S. S., & Prokopenko, N. I. (2025). Heodezychne zabezpechennia protsesiv monitorynhu zmin u strukturi zemlekorystuvannia Ukrainy v period zbroinoi ahresii rosii ta postkonfliktного vidnovlennia [Geodetic support for monitoring land use changes during armed aggression and post-conflict recovery]. *Zemleustrii, kadastr i monitorynh zemel*, 2, 20–32. DOI: <https://doi.org/10.31548/zemleustriy2025.02.02>
11. Serbov, M. H., Danilova, N. V., & Pylypiuk, V. V. (2025). Zastosuvannia interferometrii dystantsiinoho zonduvannia dlia monitorynhu deformatsii zemel u zonakh boiovykh dii: metodolohichni zasady ta prykladni aspekty [Application of remote sensing interferometry for monitoring land deformation in war zones]. *Avtomobilni dorohy i dorozhnie budivnytstvo*, 117(2), 266–278. DOI: <https://doi.org/10.33744/0365-8171-2025-117.2-266-278>
12. Panasiuk, A. V., Shlapak, V. O., Tarnavskiy, D. O., & Shapar, Ya. R. (2025). Intehratsiia GNSS-tekhnohii u systemu heodezychnoho monitorynhu ta upravlinnia hirnychym transportom [Integration of GNSS technologies into geodetic monitoring systems]. *Tekhnichna inzheneriia*, 2(96), 305–312. DOI: [https://doi.org/10.26642/ten-2025-2\(96\)-305-312](https://doi.org/10.26642/ten-2025-2(96)-305-312)
13. Ćwiąkała, P., Gruszczński, W., Stoch, T., Puniach, E., Mrocheń, D., & Matwij, W. (2020). UAV applications for determination of land deformations caused by underground mining. *Remote Sensing*, 12, 1733. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs12111733>

---

**Chuhai A., Serbov M., Danilova N.**

**GEODETIC SUPPORT FOR MONITORING CHANGES IN LAND DEFORMATION UNDER ANTHROPOGENIC LOADS AND CLIMATE CHANGE**

*LAND MANAGEMENT, CADASTRE AND LAND MONITORING 2'26: 100-112.*

<http://dx.doi.org/10.31548/zemleustriy2026.02.07>

**Abstract.** *The article addresses the issue of geodetic support for monitoring land surface deformations caused by anthropogenic pressure and climate change, which is an important prerequisite for preventing soil degradation and ensuring sustainable territorial development. The aim of the study is a comprehensive investigation of the geodetic support system as a fundamental basis for obtaining spatial data necessary for assessing and forecasting the dynamics of land resource conditions. Erosion-prone agricultural lands of the Mizoch territorial community in Rivne region were selected as the object for practical testing of the proposed solutions. The study analyzes the algorithm of geodetic monitoring, which includes preparatory and field work, data processing, GIS-based modeling of spatial changes, and the stage of managerial decision-making. Particular attention is paid to the fact that each stage requires the integration of specific instrumental methods and topographic-geodetic procedures to ensure high-precision recording of spatial shifts in*

*terrain and soil cover over time. The principles of forming a monitoring framework are described in detail. In particular, the basic criteria for designing geodetic networks are formulated, including the layout of profile lines, reliable fixation of at least two reference benchmarks outside the zone of potential deformations, and the optimal placement of working stations directly within the risk area. The practical value of systematic ground-based geodetic measurements for the timely identification of erosion centers and soil displacements is demonstrated. The accumulated set of verified spatial data provides a reliable basis for the development of effective land reclamation measures and for making informed management decisions in the field of land protection within the community. Prospects for further research include the adaptation of deformation monitoring tools to other types of landscapes and specific land-use regimes.*

**Keywords:** *geodetic support, monitoring, land use, land deformation, technogenic load, climate change, GIS, GNSS, UAV.*

---

---

## ІНТЕЛЕКТУАЛІЗАЦІЯ ЕЛЕКТРОННИХ ГЕОДЕЗИЧНИХ ПРИЛАДІВ У СИСТЕМАХ ПРОСТОРОВОГО УПРАВЛІННЯ ЯК ОСНОВА ВПРОВАДЖЕННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ В ГЕОІНФОРМАЦІЙНЕ СЕРЕДОВИЩЕ

---

**І.О. УДОВЕНКО,**

*кандидат економічних наук, доцент,*

*E-mail: irinaudovenko8@gmail.com*

*ORCID: 0000-0001-5971-8365*

*Уманський національний університет*

**Н.О. АРСЕНЬЄВА,**

*кандидат технічних наук, доцент,*

*E-mail: nataliarsen73@gmail.com*

*ORCID: 0000-0002-6178-2558*

*Харківській національний автомобільно-дорожній університет*

**М.В. ШЕМЯКІН,**

*кандидат сільськогосподарських наук, доцент,*

*E-mail: misha.uman@gmail.com*

*ORCID: 0000-0002-3621-1446*

*Уманський національний університет*

**Анотація.** Стаття присвячена формуванню прикладних засад інтелектуалізації електронних геодезичних приладів через їхню інтеграцію з технологіями штучного інтелекту (ШІ). Дослідження присвячено переходу від традиційних вимірювальних приладів до адаптивних геодезичних систем. Такі комплекси зберігають метрологічну стабільність у мінливому середовищі. Методологія базується на техніко-аналітичному підході та структурному моделюванні інтелектуальних пристроїв. Проведено порівняльну оцінку функціональних режимів роботи. Виконано аналіз часових рядів геодезичних спостережень. Узагальнено практики застосування штучного інтелекту в геоінформаційних системах. Інформаційну основу склали технічні параметри тахеометрів і GNSS-приймачів. Використано характеристики лазерних сканерів та сенсорних платформ моніторингу. Застосовано дані цифрових систем управління міською інфраструктурою. Результати підтверджують ефективність алгоритмів комп'ютерного зору. Встановлено, що інтелектуальні геодезичні комплекси формують новий підхід до організації просторового контролю інфраструктури та територій.

*Системи працюють не лише в режимі фіксації координат, а й у форматі безперервного аналізу стану об'єкта. Інтегровані алгоритми машинного навчання оцінюють динаміку зміщень, стабільність сигналу, рівень вібраційних навантажень та характер змін просторових параметрів у реальному часі. Особливу увагу приділено поєднанню тахеометрії, GNSS, LiDAR, фотограмметрії та безпілотних платформ у межах єдиного цифрового середовища. Особливо підтверджено ефективність інтелектуальних геодезичних сенсорів у системах моніторингу мостів, дамб, тунелів, транспортних вузлів і висотних споруд. Практична цінність полягає у розробці концепції геодезичних комплексів нового покоління. Нові прилади поєднують точні вимірювання з прогнозною аналітикою. Програмне забезпечення автоматично підтримує прийняття управлінських рішень. Наукова новизна визначається комплексним підходом до інтеграції штучного інтелекту. Поєднано інструментальні засоби з аналітичними моделями. Враховано інфраструктурні аспекти впровадження технологій у геодезичну практику.*

**Ключові слова:** *штучний інтелект, геодезичні прилади, просторове управління, лазерне сканування, моніторинг інфраструктури, цифрові двійники.*

---

## **Вступ**

Просторові дані які забезпечують муніципальні та інфраструктурні процеси планування, змінюють вимоги до геодезичного обладнання. Вимірювальний прилад уже не сприймається як окремий технічний засіб фіксації координат. Від нього очікують стабільної роботи в динамічному середовищі, швидкого аналізу результатів, автоматичного контролю точності та здатності взаємодіяти з цифровими платформами управління. Особливо це помітно там, де рішення залежать від часу реагування. Це сфери будівництва, транспорту, моніторинг споруд і міської інфраструктури. Звичайні алгоритми обробки вже не завжди справляються з великими потоками вимірювань і складними польовими умовами.

Наявні електронні тахеометри, GNSS-приймачі, лазерні сканери та суміжні комплекси здебільшого орієнтовані на виконання вимірювань за наперед заданими режимами роботи.

Але проблема полягає в іншому. Польове середовище змінюється швидше, ніж користувач встигає коригувати налаштування вручну. Унаслідок цього виникають похибки наведення, сигнальні завади, втрати часу на повторні цикли, а також затримки під час камеральної перевірки. Ці факти вказують на потребу інтеграції ШІ рішень з інтелектуалізованими геодезичними приладами.

## **Аналіз останніх досліджень та публікацій**

У дослідженні Кухаря М. А. [2] показано, що цифрове поєднання кількох джерел вимірювань підвищує оперативність оновлення територіальної інформації. Водночас поза увагою залишилися аспекти адаптації таких рішень безпосередньо до польових приладів. Дорожко Є. В. та Удовенко І. О. [1] простежили еволюцію електронних геодезичних систем від стандартної автоматизації до інтелектуального управління процесами

спостереження. Вони наголосили на зростанні ролі алгоритмічного контролю якості. Однак питання технічної реалізації автономних функцій у серійному обладнанні залишається розкритим не повністю. Нестеренко С. Г. зі співавторами [3] систематизували сучасні підходи до геодезичного моніторингу споруд і територій. Важливість регулярних спостережень для безпеки об'єктів не викликає сумнівів, проте прогнозування ризиків на основі часових рядів вимірювань досі викликає дискусії.

Узагальнюючий огляд Хамзіча А. [5] засвідчив, що автоматизоване розпізнавання і класифікація даних за допомогою ШІ суттєво розширюють можливості геодезії та геоінформатики. Але недостатньо опрацьовано, як інтегрувати такі моделі безпосередньо в геодезичні роботи. П'єрдікка Р. і Паоланті М. [13] проаналізували підходи GeoAI до інтерпретації складних геоматичних даних. Нейромережі демонструють високу результативність у роботі з неоднорідними масивами спостережень. Разом із тим відкритими лишаються питання енергетичної та обчислювальної оптимізації таких моделей.

Май Г., Се І., Цзя С. та ін. [8] запропонували бачення наступного покоління геопросторового штучного інтелекту з переходом до самонавчальних аналітичних платформ. Однак практична сумісність цих рішень із наявним геодезичним обладнанням потребує додаткового опрацювання. Сої Б., Каселімі М., Асгарімехр М. та їхні колеги [15] визначили роль ШІ в сучасній геодезії на рівні міжнародних ініціатив, наголосивши на перспективності глобальних сервісів обробки даних. Але питання локального використання таких технологій в інф-

раструктурному моніторингу лишаються недостатньо деталізованими.

Чжан Г., Чень Х. та Ян Х. [16] навели результати застосування роботизованих технологій для великомасштабного геодезичного збору даних. Автономні платформи показують високу ефективність, проте комплексна взаємодія робототехніки та інтелектуальних геодезичних приладів ще не завершена. Усе це дає підстави стверджувати, що доцільним є проведення подальшого дослідження стосовно впровадження ШІ в роботу електронних геодезичних приладів в просторовому управлінні.

**Мета статті** – обґрунтування прикладних засад поєднання технологій ШІ з роботою електронних геодезичних приладів для підвищення точності просторових вимірювань і автоматизації обробки геодезичних даних.

### **Матеріали і методи дослідження**

У процесі роботи автори спиралися на технічні характеристики сучасних електронних тахеометрів, GNSS-приймачів, лазерних сканерів та мобільних геодезичних платформ. Крім того, до аналізу залучено аналітичні дані про функціонування цифрових систем просторового управління. Для дослідження були використані масиви координатних спостережень, часові ряди деформаційних вимірювань, параметри точності позиціонування, показники стабільності сигналу, а також результати сенсорного моніторингу інфраструктурних об'єктів. Методичну основу дослідження склали кілька підходів. Передусім це порівняльний аналіз технічних рішень, структурне моделювання інтелекту-

альних функцій приладів та сценарне оцінювання режимів експлуатації. Окрему роль відіграє системний підхід до інтеграції геодезичних даних у цифрові середовища управління. Наразті, ми звернулися до аналітичного узагальнення практик використання ШІ. Мова йде про автоматичне розпізнавання об'єктів, самодіагностику обладнання та прогнозування просторових змін.

### Результати дослідження та їх обговорення

Геодезичні роботи завжди залежали від нестійких факторів забезпечення. Перший виробничий контур модернізації пов'язаний із системами комп'ютерного бачення. Інтелектуальний тахеометр уже не шукає ціль лише за контрастною плямою чи відбитим променем. Він аналізує геометрію сцени, контур призми, характер руху віхи, кутові зміни положення, навіть ймовірність тимчасового перекриття цілі транспортом або персоналом. Це дає стабільне автосупроводження там, де класичні режими втрачали наведення. Другий контур модернізації пов'язаний із самокалібруванням та прогнозуванням похибок. Класичний прилад працює за фіксованими заводськими параметрами, які з часом змінюються через знос, температурні деформації, удари при транспортуванні. Інтелектуальна система формує власну поведінкову модель і відстежує малі відхилення ще до того, як вони переходять у метрологічну проблему [10, с. 168]. Для оцінювання динамічного дрейфу параметрів сформуємо функцію(1).

Коли індекс перевищить поріг стабільності, прилад запустить сервіс-

$$D_k = \sqrt{\frac{1}{m} \sum_{j=1}^m (p_{j,k} - \hat{p}_j)^2} + \eta \left| \frac{dp}{dt} \right| + \rho T_v. \quad (1)$$

де:

$D_k$  – індекс технічного дрейфу на момент  $k$ ;

$p_{j,k}$  – поточний параметр  $j$ -го вузла;

$\hat{p}_j$  – еталонне значення;

$m$  – кількість контрольованих параметрів;

$\left| \frac{dp}{dt} \right|$  – швидкість зміни параметра;

$T_v$  – вібраційне навантаження;

ний сценарій. Після цього повторний цикл перевірки блокує високоточний режим. Йдеться не про красиве меню, а про систему контекстної взаємодії. Вона розуміє, що оператор виконує винесення осей, спостереження деформацій чи виконавче знімання, після чого перебудовує сценарій дій, контрольні повідомлення та структуру введення даних. До речі, саме тут зменшується кількість людських пропусків [9, с. 200]. Щоб оцінити прикладну результативність модернізації, доцільно зіставити зміну технічних показників робіт після інтеграції ШІ (табл. 1).

Перший прикладний напрям пов'язаний з інтелектуальною класифікацією хмар точок LiDAR і лазерного сканування. Після польового проходу система отримує мільйони просторових точок з різною щільністю, відбивною здатністю та шумовими домішками. Нейромережевий модуль не лише групує точки за класами, а й оцінює форму об'єкта, вертикальний профіль, регулярність контурів, матеріальну структуру поверхні [6, с. 32]. Це дає змогу відокремити будівлі від дерев, дрібні опори від випадкового шуму, покриття дороги від відкритого ґрунту (рис. 1).

Для оцінювання якості автоматич-



ної класифікації доцільно використувати інтегральну модель виду:

$$Q_c = \frac{\sum_{i=1}^n \omega_i \left( \frac{P_i R_i F_i}{1 + E_i} \right)}{1 + \lambda \sigma_h + \mu \sigma_d + \nu \kappa_i} \quad (2)$$

де:

$Q_c$  – загальна якість класифікації;

$\omega_i$  – вага класу об’єкта;

$P_i$  – точність віднесення до класу;

$R_i$  – повнота виявлення;

$F_i$  – геометрична узгодженість форми;

$E_i$  – частка помилкових спрацювань;

$\sigma_h$  – дисперсія висот;

$\sigma_d$  – дисперсія щільності точок;

$\kappa_i$  – часовий шум даних;

$\lambda, \mu, \nu$  – коефіцієнти стабілізації.

У разі зниження показника, система переводить фрагмент у режим ручної експертизи або повторного навчання моделі. Другий напрям стосується автоматичного оновлення топографічних планів і цифрових моделей місцевості. Тут ШІ аналізує не лише нові вимірювання, а різницю між кількома часовими станами території. Якщо з’явився новий контур забудови, змінився ухил майданчика, демонтовано мережевий вузол чи виникла виїмка ґрунту, система фіксує подію та формує пакет змін [7]:

$$T_u = \frac{\alpha S_n + \beta S_m + \gamma V_e + \delta L_r}{A_z \cdot (1 + \tau_a)} \quad (3)$$

де:

$T_u$  – індекс оновлення території;

$S_n$  – площа нових об’єктів;

$S_m$  – площа модифікованих контурів;

$V_e$  – обсяг земляних змін;

$L_r$  – довжина реконструйованих лінійних елементів;

$A_z$  – площа зони контролю;

$\tau_a$  – коефіцієнт архівного старіння;

$\alpha, \beta, \gamma, \delta$  – вагові коефіцієнти.

Чим більшим є значення, тим частіше ця зона повинна проходити повторне сканування. Такий підхід розподіляє ресурси раціонально. Для практичного управління доцільно зіставити параметри оновлення за типами територій (табл. 2).

Третій напрям стосується побудови єдиної координатної бази з тахеометрії, GNSS, фотограмметрії та БПЛА. Проблема полягає в тому, що кожне джерело має власну похибкову структуру. Якщо поєднання виконано грубо, система лише накопичує суперечності [11, с. 102]. Для зваженого просторового злиття даних запроваджується наступний показник:

$$X_f = \frac{\sum_{j=1}^m \left( \frac{x_j}{\sigma_j^2} \cdot \rho_j \cdot \psi_j \right)}{\sum_{j=1}^m \left( \frac{1}{\sigma_j^2} \cdot \rho_j \cdot \psi_j \right)} \quad (4)$$

де:

$X_f$  – зведене координатне значення;

$x_j$  – координата з  $j$ -го джерела;

$\sigma_j^2$  – дисперсія джерела;

$\rho_j$  – коефіцієнт надійності;

$\psi_j$  – часовий коефіцієнт актуальності;

$m$  – кількість джерел.

Традиційний інженерний контроль мав циклічний характер. Об’єкт оглядали за графіком, виконували локальні вимірювання, склали звіт і поверталися до нього через певний час [1, с. 122]. Інтелектуальна геодезична система працює інакше. На споруді

## 2. Параметри автоматичного оновлення цифрових планів територій [4, 13]

№ з/п	Тип території	Основне джерело даних	Тип змін, що домінує	Камеральне навантаження	Пріоритет повторного контролю
1	Центральна міська зона	БПЛА + GNSS	Реконструкція забудови	Високе	Високий
2	Житловий масив	Ортофото	Добудови та малі споруди	Середнє	Середній
3	Промисловий кластер	LiDAR	Нові майданчики та технічні зони	Високе	Високий
4	Передмістя	Супутникові знімки	Розширення меж використання	Середнє	Середній
5	Логістичний вузол	Мобільне сканування	Транспортні зміни	Високе	Високий
6	Рекреаційна зона	Супутник + БПЛА	Зміна покриття території	Низьке	Низький

встановлюються GNSS-модулі, роботизовані тахеометри, інклінометри, лазерні сканери, акселерометри, температурні датчики, камери технічного бачення. Дані надходять у єдиний аналітичний контур, де алгоритми ШП виявляють відхилення, аналізують тренди та ранжують ризики [12, с. 166]. Це, власне, змінює сам принцип управління, від реактивного до попереджувального. Для інтегральної оцінки технічної стійкості впроваджуємо багатofакторний індекс:

$$I_s = \frac{\sum_{i=1}^n \omega_i \left( \frac{L_i^{cr} - L_i}{\sigma_i + \varepsilon} \right) \cdot \rho_i}{1 + \alpha t_e + \beta v_d + \gamma c_f + \delta m_r} \quad (5)$$

де:

$I_s$  – індекс структурної стійкості;

$L_i^{cr}$  – гранично допустиме значення контрольного параметра;

$L_i$  – поточне значення параметра;

$\sigma_i$  – дисперсія спостережень;

$\rho_i$  – коефіцієнт достовірності сенсора;

$t_e$  – строк експлуатації споруди;

$v_d$  – динамічне навантаження;

$c_f$  – коефіцієнт втоми матеріалу;

$m_r$  – ремонтна затримка;

$\omega_i, \alpha, \beta, \gamma, \delta$  – вагові коефіцієнти.

Якщо значення індексу знижується до порогової межі, система автоматично формує сигнал тривоги, режим обмеження навантаження або план позачергової діагностики. Першочергово такі рішення впроваджуються на об'єктах, де наслідки відмови мають масштабний характер. Визначаємо саме мостові переходи, транспортні естакади, греблі, тунельні комплекси, резервуарні споруди, високі будівлі та великі підпірні конструкції [14, с. 332]. Для них потрібен безперервний контроль, а не точкове спостереження (рис. 2).

Програмні модулі автоматично розпізнають віхи та призми у польових умовах. Системи ідентифікують контрольні марки та просторові орієнтири без ручного налаштування. Цей підхід скорочує час на наведення приладів. Кількість повторних спостережень значно зменшується. Вбудовані діагностичні інструменти фіксують температурний дрейф на ранніх етапах. Алгоритми виявляють вібраційні впливи та нестабільність живлення.



**Рис. 2. Інтелектуальна система моніторингу та прогнозування деформацій мостової споруди на основі ТІМ (Технології Інформаційного Моделювання) та ШІ (побудовано авторами в середовищі SolidWorks)**

**3. Комплексні пропозиції щодо впровадження інтелектуальних геодезичних систем на об'єктах інфраструктури (розроблено авторами)**

№ з/п	Тип об'єкта	Сенсорна конфігурація	Контрольовані параметри	Аналітичний модуль ШІ	Автоматична дія системи	Очікуваний експлуатаційний результат
1	Автомобільний міст	GNSS, тахеометр, акселерометр	Прогин, вібрація, температурний шов	Прогноз деформаційного тренду	Обмеження руху за смугами	Зниження аварійного ризику
2	Гребля	GNSS, інклінометр, п'єзометр	Зсув тіла, фільтрація, нахил	Модель стійкості масиву	Попередження диспетчера	Підвищення гідробезпеки
3	Тунель	Лазерний сканер, тахеометр	Осідання, зближення контурів	Геометричний контроль профілю	План позачергового огляду	Стабільність експлуатації
4	Шляхопровід	GNSS, камера, датчики тріщин	Зміщення опор, дефекти плити	Розпізнавання дефектів	Тимчасове обмеження маси	Зменшення перевантажень
5	Висотна споруда	GNSS, інклінометр, IMU	Крен, коливання, осадка	Модель просторової динаміки	Сервісний виклик інженерів	Контроль стійкості будівлі
6	Підземний колектор	Лінійні сенсори, сканер	Просідання, зсув секцій	Детектор аномалій	Вийзд аварійної бригади	Зменшення проривів
7	Кар'єрний борт	БПЛА, GNSS, LiDAR	Розкриття тріщин, зсуви	Геомеханічний прогноз	Закриття небезпечної зони	Захист персоналу

Система контролює відхилення калібрування в реальному часі. Це запобігає переходу похибок у критичний стан. Інтеграція тахеометрії з GNSS та LiDAR покращує точність даних.

Використання фотограмметрії та безпілотних платформ прискорює оновлення топографічних планів. Цифрові моделі місцевості та кадастрові бази формуються оперативніше.

Геодезичні сенсори ефективно працюють у мережах безперервного контролю. Їх застосовують для моніторингу мостів і дамб. Системи відстежують стан тунелів та висотних споруд. Щоб сформувавши технічну структуру застосування, доцільно зіставити пропозиції для різних типів об'єктів інфраструктури (табл. 3).

Прикладний контур стосується прогнозування просідань, кренів і зміщень за часовими рядами спостережень. Просте порівняння двох дат уже недостатнє. Якщо швидкість зміни зростає, навіть мале абсолютне зміщення може бути критичним [5, с. 138]. Для прогнозування поведінки споруди доцільно використати комбіновану часову модель:

$$D_{t+k} = a_0 + \sum_{j=1}^p a_j D_{t-j} + b_1 \dot{D}_t + b_2 \ddot{D}_t + c_1 T_t + c_2 Q_t + \xi_t. \quad (6)$$

де:

$D_{t+k}$  – прогнозоване зміщення у момент  $t+k$ ;

$D_{t-j}$  – попередні спостереження;

$\dot{D}_t$  – швидкість зміни;

$\ddot{D}_t$  – прискорення процесу;

$T_t$  – температурний фактор;

$Q_t$  – транспортне або експлуатаційне навантаження;

$\xi_t$  – випадкова складова;

$a_p, b_1, b_2, c_1, c_2$  – параметри моделі.

Якщо модель фіксує прискорення негативного тренду, система переводить об'єкт у режим посиленого контролю. Для вибору безпечної траєкторії роботизованого комплексу формується критерій мінімізації сумарного ризику:

$$R_p = \min \sum_{i=1}^m (\lambda_1 l_i + \lambda_2 h_i + \lambda_3 z_i + \lambda_4 s_i + \lambda_5 w_i). \quad (7)$$

де:

$R_p$  – оптимальний ризиковий маршрут;

$l_i$  – довжина сегмента шляху;

$h_i$  – перепад висот;

$z_i$  – рівень перешкод;

$s_i$  – нестійкість поверхні;

$w_i$  – вплив зовнішнього середовища;

$\lambda_1 \dots \lambda_5$  – вагові коефіцієнти.

Міське управління також отримує нові можливості. Якщо сенсори мостів, доріг, колекторів і висотних будівель інтегровані у Smart City платформу, дані переходять у режим оперативного диспетчерського використання. Дорожні потоки можна перенаправляти, ремонтні служби відправляти адресно, навантаження розподіляти за фактичним станом споруд (табл. 4).

Практичні засади впровадження штучного інтелекту в геоінформаційне середовище доцільно формувати через поєднання сенсорних геодезичних систем, цифрових платформ управління та аналітичних модулів обробки просторових даних. Насамперед потрібна інтеграція тахеометрів, GNSS-приймачів, лазерних сканерів і безпілотних платформ у єдину координатну базу з автоматичним узгодженням часових та просторових параметрів. Це забезпечить безперервне оновлення топографічних моделей, кадастрових шарів і цифрових двійників територій.

Другий напрям пов'язаний із впровадженням інтелектуальних модулів контролю якості даних. Алгоритми комп'ютерного зору мають автоматично виявляти аномалії вимірювань, втрату стабільності сигналу, зміщення контрольних точок та дефор-

#### 4. Пропозиції щодо інтеграції геодезичних сенсорів у муніципальні центри оперативного управління (розроблено авторами)

№ з/п	Міський контур управління	Геодезичне джерело даних	Контрольний індикатор	Алгоритмічна реакція	Комунікаційний канал	Практичний результат
1	Дорожній центр	Сенсори мостів і шляхопроводів	Прогин та перевантаження	Перерозподіл потоків руху	Диспетчерська панель	Зниження зазорів і ризиків
2	Комунальний блок	Лінійні датчики колекторів	Зсув і просідання	Формування заявки ремонту	ERP-служби міста	Швидке усунення аварій
3	Будівельний нагляд	GNSS висотних споруд	Крен і осадка	Автоматичний аудит об'єкта	Кабінет інспектора	Посилення контролю
4	Цивільний захист	Дамби та укріплення	Нахил і фільтрація	Режим підвищеної готовності	Центр реагування	Підвищення безпеки
5	Транспортний департамент	Тунелі та станції	Деформації конструкцій	Позачергова перевірка	Оперативна мережа	Безперервність перевезень
6	Геотехнічний моніторинг	Кар'єри, схили, укуси	Ризик зсуву	Закриття небезпечної зони	Система сповіщення	Захист працівників
7	Міський аналітичний центр	Усі інтегровані джерела	Композитний індекс ризику	Пріоритезація ресурсів	Data Hub міста	Рациональне управління

маційні процеси інфраструктурних об'єктів. Це скорочує обсяг ручної перевірки та підвищує оперативність просторового аналізу. До речі, особливо ефективними такі рішення стають у міських системах моніторингу мостів, тунелів і транспортних вузлів.

Третя практична засада стосується створення муніципальних геоінформаційних центрів із функціями прогнозу аналітики. Інтелектуальні геодезичні системи повинні автоматично формувати сигнали ризику, сценарії реагування та пріоритетність ремонтних робіт. І в результаті просторові дані переходять із категорії архівної інформації у формат оперативного управлінського ресурсу. Це підвищує швидкість реагування на деформаційні процеси, оптимізує використання міських ресурсів та посилює безпеку критичної інфраструктури.

#### Висновки і перспективи

Інтеграція електронних геодезичних приладів з алгоритмами штучного інтелекту змінює принципи вимірювального процесу. Сучасні пристрої більше не обмежуються фіксацією координат. Вони постійно аналізують параметри навколишнього середовища. Системи автоматично перевіряють стабільність спостережень. Робочі режими коригуються без участі оператора. Подібні функції мінімізують вплив людського фактора. Кількість повторних вимірювань значно скорочується. Надійність отриманих даних підвищується за несприятливих польових умов. Поєднання тахеометрії з GNSS технологіями формує нову модель просторового моніторингу. Лазерне сканування та фотограмметрія доповнюють цю архітектуру. Безпілот-

ні комплекси забезпечують оперативний збір інформації. Окремі масиви просторових даних об'єднуються в єдине геоінформаційне середовище. Дані різних джерел узгоджуються за спільними координатними параметрами. Така організація прискорює оновлення топографічних планів. Зміни в забудові фіксуються з високою точністю. Інструменти стабільно відстежують деформації інженерних споруд. Швидкість формування цифрових двійників інфраструктури зростає. Отримані результати забезпечують обґрунтованість управлінських рішень. Впровадження розглянутих технологій підвищує ефективність геодезичного контролю.

Інтелектуалізація електронних геодезичних приладів у системах просторового управління має найбільший прикладний ефект у сфері безпеки критичної інфраструктури та міського оперативного управління. Йдеться про безперервний моніторинг мостів, дамб, тунелів, висотних споруд і транспортних вузлів. Такий моніторинг дає змогу фіксувати небезпечні тенденції ще до появи видимих дефектів. Як наслідок, зменшується ризик аварій, покращується розподіл ремонтних ресурсів, а технічний контроль переходить у режим прогностного управління замість запізненого реагування

---

#### Список використаної літератури

1. Дорожко Є. В., Удовенко І. О. Інтелектуальні технології в електронних геодезичних системах публічного просторового управління: еволюція від автоматизації до цифрово-етичних стандартів. *Землеустрій, кадастр і моніторинг земель*. 2025. № 4. С. 117–129. DOI: <https://doi.org/10.31548/zemleustriy2025.04.09>
2. Кухар М. А. Сучасні тенденції інтеграції геодезії, ГІС та штучного інтелекту для роботи з просторовими даними. *Комунальне господарство міст. Серія: Інформаційні технології та інженерія*. 2025. № 4(192). С. 285–291. DOI: <https://doi.org/10.33042/3083-6727-2025-4-192-285-291>
3. Нестеренко С. Г., Радзінська Ю. Б., Євдокімов А. А., Штерндок Е. С. Сучасні аспекти методичного забезпечення геодезичного моніторингу об'єктів та територій. *Комунальне господарство міст. Серія: Технічні науки та архітектура*. 2024. № 6(187). С. 199–203. DOI: <https://doi.org/10.33042/2522-1809-2024-6-187-199-203>
4. Akerele T. M., Owoigbe K. V., Idowu R. L. The Role of Artificial Intelligence in Automating Bathymetric Data Analysis and Feature Detection. *International Journal of Research Publication and Reviews*. 2025. Vol. 6. No 7. pp. 1850–1859. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.15869266>
5. Hamzić A. Artificial intelligence in geodesy and geoinformatics: a review. *Glasnik Saveza geodetskih inženjera i geometara Bosne i Hercegovine*. 2023. No 54. С. 132–145. URL: [https://glasnik.suggsbih.ba/glasnik/54/documents/GG54\\_132.pdf](https://glasnik.suggsbih.ba/glasnik/54/documents/GG54_132.pdf)
6. Idowu T. O., Ilesanmi K. S. A Review of the Challenges and Prospects of Artificial Intelligence Applications in Gravimetric Geodesy. *Journal of Spatial Information Sciences*. 2025. Vol. 2. No 1. pp. 26–40. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.14809386>
7. Karanikolas N., Kyriakidou E., Athanasouli E. Artificial Intelligence and Real Estate Valuation: *The Design and Implementation of a Multimodal Model*. *Information*. 2025. Vol. 16. No 12. p. 1049. DOI: <https://doi.org/10.3390/info16121049>
8. Mai G., Xie Y., Jia X., Lao N., Rao J., Zhu Q., Liu Z., Chiang Y.-Y., Jiao J. Towards the next generation of Geospatial Artificial Intelligence. *International Journal of Applied*

- Earth Observation and Geoinformation*. 2025. Vol. 136. p. 104368. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jag.2025.104368>
9. Makedon V. V., Yarmolenko L. I., Chumak T. V., Zaporozhchenko O. Y. Ensuring the implementation of commercialization strategies for satellite services in the digital economy. *Academy Review*. 2025. Vol. 2(63). Pp. 187–203. DOI: <https://doi.org/10.32342/3041-2137-2025-2-63-12>
  10. Makedon V., Myachin V., Aloshyna T., Cherniavska I., Karavan N. Improving the readiness of enterprises to develop sustainable innovation strategies through fuzzy logic models. *Economic Studies (Ikonomicheski Izsledvania)*. 2025. Vol. 34. No. 5. Pp. 165–179. <https://doi.org/10.18664/1994-7852.212.2025.336296>
  11. Malashchuk O., Movchan T., Rozhi T. Intelligent technologies in the evolution of electronic geodetic instruments: conceptual basis for the integration of artificial intelligence into spatial management systems and geoinformation environments. *Land Management, Cadastre and Land Monitoring*. 2025. No 4. pp. 95–107. DOI: <https://doi.org/10.31548/zemleustriy2025.04.07>
  12. Odoh I. E., Tangwam M. AI Applications to Metes-and-Bounds Descriptions: Innovation, Accuracy, and the Evolving Practice of Land Surveying. *International Journal of Scientific Research and Technology*. 2026. Vol. 3. No 4. pp. 161–170.
  13. Pierdicca R., Paolanti M. GeoAI: a review of Artificial Intelligence approaches for the interpretation of complex Geomatics data. *Geoscientific Instrumentation, Methods and Data Systems*. 2022. Vol. 11. No 1. pp. 195–218. DOI: <https://doi.org/10.5194/gi-11-195-2022>
  14. Shodiyev R. M., Xushvaqtov A. S. Modern Instruments Used in the Fields of Mine Surveying and Geodesy. *International Journal of Artificial Intelligence*. 2025. Vol. 5. No 07. pp. 329–333. URL: <https://www.academicpublishers.org/journals/index.php/ijai/article/view/5824/6739>
  15. Soja B., Kaselimi M., Asgarimehr M., Modiri S., Sharifi M. A., Belda S., Liu L., Omidalizarandi M., Śliwińska-Bronowicz J. The Role of AI in Modern Geodesy: Insights from GGOS Focus Area AI4G. IAG Scientific Assembly 2025. 2025. DOI: <https://doi.org/10.3929/ethz-c-000783501>
  16. Zhang G., Cheng H., Yang H. Research on the Application of Industrial Robot Technology in Large-Scale Geodetic Data Acquisition. *Journal of Environmental & Earth Sciences*. 2026. Vol. 8. No 2. pp. 157–182. DOI: <https://doi.org/10.30564/jees.v8i2.13075>
- 

### References

1. Dorozhko, Ye. V., & Udovenko, I. O. (2025). Intelktualni tekhnologii v elektronnykh heodezychnykh systemakh publichnoho prostorovoho upravlinnia: evoliutsiia vid avtomatyzatsii do tsyfrovo-etychnykh standartiv [Intelligent technologies in electronic geodetic systems of public spatial management: evolution from automation to digital-ethical standards]. *Zemleustrii, kadastr i monitorynh zemel - Land Management, Cadastre and Land Monitoring*, 4, 117–129. <https://doi.org/10.31548/zemleustriy2025.04.09>
2. Kukhar, M. A. (2025). Suchasni tendentsii intehratsii heodezii, HIS ta shtuchnoho intelektu dlia roboty z prostorovymy danymy [Modern trends in the integration of geodesy, GIS and artificial intelligence for working with spatial data]. *Komunalne hospodarstvo mist. Serii: Informatsiini tekhnologii ta inzheneriia - Municipal Economy of Cities. Series: Information Technologies and Engineering*, 4(192), 285–291. <https://doi.org/10.33042/3083-6727-2025-4-192-285-291>
3. Nesterenko, S. H., Radzinska, Yu. B., Yevdokimov, A. A., & Shterndok, E. S. (2024). Suchasni aspekty metodychnoho zabez-

- pechennia heodezychnoho monitorynu hu obiektyv ta terytorii [Modern aspects of methodological support for geodetic monitoring of objects and territories]. *Komunalne hospodarstvo mist. Serii: Tekhnichni nauky ta arkhitektura - Municipal Economy of Cities. Series: Engineering Sciences and Architecture*, 6(187), 199–203. <https://doi.org/10.33042/2522-1809-2024-6-187-199-203>
4. Akerele, T. M., Owoigbe, K. V., & Idowu, R. L. (2025). The role of artificial intelligence in automating bathymetric data analysis and feature detection. *International Journal of Research Publication and Reviews*, 6(7), 1850–1859. <https://doi.org/10.5281/zenodo.15869266>
  5. Hamzić, A. (2023). Artificial intelligence in geodesy and geoinformatics: a review. *Glasnik Saveza geodetskih inženjera i geometara Bosne i Hercegovine*, 54, 132–145. [https://glasnik.suggsbih.ba/glasnik/54/documents/GG54\\_132.pdf](https://glasnik.suggsbih.ba/glasnik/54/documents/GG54_132.pdf)
  6. Idowu, T. O., & Ilesanmi, K. S. (2025). A review of the challenges and prospects of artificial intelligence applications in gravimetric geodesy. *Journal of Spatial Information Sciences*, 2(1), 26–40. <https://doi.org/10.5281/zenodo.14809386>
  7. Karanikolas, N., Kyriakidou, E., & Athanasouli, E. (2025). Artificial intelligence and real estate valuation: *The design and implementation of a multimodal model. Information*, 16(12), 1049. <https://doi.org/10.3390/info16121049>
  8. Mai, G., Xie, Y., Jia, X., Lao, N., Rao, J., Zhu, Q., Liu, Z., Chiang, Y.-Y., & Jiao, J. (2025). Towards the next generation of geospatial artificial intelligence. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 136, 104368. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2025.104368>
  9. Makedon, V. V., Yarmolenko, L. I., Chumak, T. V., & Zaporozhchenko, O. Y. (2025). Ensuring the implementation of commercialization strategies for satellite services in the digital economy. *Academy Review*, 2(63), 187–203. <https://doi.org/10.32342/3041-2137-2025-2-63-12>
  10. Makedon, V., Myachin, V., Alohyna, T., Cherniavska, I., & Karavan, N. (2025). Improving the readiness of enterprises to develop sustainable innovation strategies through fuzzy logic models. *Economic Studies (Ikonomicheski Izsledvania)*, 34(5), 165–179. <https://doi.org/10.18664/1994-7852.212.2025.336296>
  11. Malashchuk, O., Movchan, T., & Rozhi, T. (2025). Intelligent technologies in the evolution of electronic geodetic instruments: conceptual basis for the integration of artificial intelligence into spatial management systems and geoinformation environments. *Land Management, Cadastre and Land Monitoring*, 4, 95–107. <https://doi.org/10.31548/zemleustriy2025.04.07>
  12. Odoh, I. E., & Tangwam, M. (2026). AI applications to metes-and-bounds descriptions: Innovation, accuracy, and the evolving practice of land surveying. *International Journal of Scientific Research and Technology*, 3(4), 161–170.
  13. Pierdicca, R., & Paolanti, M. (2022). GeoAI: a review of artificial intelligence approaches for the interpretation of complex geomatics data. *Geoscientific Instrumentation, Methods and Data Systems*, 11(1), 195–218. <https://doi.org/10.5194/gi-11-195-2022>
  14. Shodiyev, R. M., & Xushvaqtov, A. S. (2025). Modern instruments used in the fields of mine surveying and geodesy. *International Journal of Artificial Intelligence*, 5(07), 329–333. <https://www.academicpublishers.org/journals/index.php/ijai/article/view/5824/6739>
  15. Soja, B., Kaselimi, M., Asgarimehr, M., Modiri, S., Sharifi, M. A., Belda, S., Liu, L., Omidalizrandi, M., & Śliwińska-Bronowicz, J. (2025). The role of AI in modern geodesy: Insights from GGOS Focus Area AI4G. IAG Scientific Assembly 2025. <https://doi.org/10.32342/3041-2137-2025-2-63-12>

org/10.3929/ethz-c-000783501  
16. Zhang, G., Cheng, H., & Yang, H. (2026).  
Research on the application of industrial  
robot technology in large-scale geodetic

data acquisition. *Journal of Environmental  
& Earth Sciences*, 8(2), 157–182. [https://  
doi.org/10.30564/jees.v8i2.13075](https://doi.org/10.30564/jees.v8i2.13075)

---

**Udovenko I., Arsenieva N., Shemiakin M.**

**THE INTELLECTUALIZATION OF ELECTRONIC SURVEYING INSTRUMENTS IN  
SPATIAL MANAGEMENT SYSTEMS AS A FOUNDATION FOR THE INTEGRA-  
TION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE INTO THE GEOINFORMATION ENVIRON-  
MENT**

*LAND MANAGEMENT, CADASTRE AND LAND MONITORING 2'26: 113-126.*

<http://dx.doi.org/10.31548/zemleustriy2026.02.08>

**Abstract.** *Abstract. The article is devoted to the formation of applied principles of intellectualization of electronic geodetic instruments through their integration with artificial intelligence (AI) technologies. The purpose of the article is to develop applied foundations for the intellectualization of electronic geodetic instruments through their integration with artificial intelligence (AI) technologies. The study is devoted to the transition from traditional measuring devices to adaptive geodetic systems. Such complexes maintain metrological stability in a changing environment. The methodology is based on a technical-analytical approach and structural modeling of intelligent devices. A comparative assessment of functional operating modes was carried out. An analysis of time series of geodetic observations was performed. Practices of artificial intelligence application in geoinformation systems were generalized. The information base consisted of the technical parameters of total stations and GNSS receivers. The characteristics of laser scanners and sensor monitoring platforms were used. Data from digital urban infrastructure management systems were applied.*

*The results confirm the effectiveness of computer vision algorithms. Software modules automatically recognize survey poles and prisms under field conditions. The systems identify control marks and spatial reference points without manual adjustment. This approach reduces the time required for instrument targeting. The number of repeated observations is significantly decreased. Built-in diagnostic tools detect temperature drift at early stages. Algorithms identify vibration effects and power instability. The system monitors calibration deviations in real time. This prevents errors from reaching a critical state. Integration of total station surveying with GNSS and LiDAR improves data accuracy. The use of photogrammetry and unmanned platforms accelerates the updating of topographic plans. Digital terrain models and cadastral databases are generated more efficiently. Geodetic sensors operate effectively in continuous monitoring networks. They are used for monitoring bridges and dams. The systems track the condition of tunnels and high-rise structures. The practical value lies in the development of a concept for a new generation of geodetic complexes. New instruments combine precise measurements with predictive analytics. Software automatically supports management decision-making. The scientific novelty is determined by a comprehensive approach to the integration of artificial intelligence. Instrumental tools are combined with analytical models. Infrastructural aspects of technology implementation in geodetic practice are taken into account.*

**Keywords:** *artificial intelligence, geodetic instruments, spatial management, laser scanning, infrastructure monitoring, digital twins.*

# ЗЕМЕЛЬНИЙ КАДАСТР, ОЦІНКА ЗЕМЛІ ТА НЕРУХОМОГО МАЙНА

ISSN 2306-1677 (Print) ISSN 2518-7325 (On-line)

Отримано: 22.04.2026; Прийнято: 30.04.2026; Опубліковано: 30.06.2026;

УДК 332.2:719:330.59

<http://dx.doi.org/10.31548/zemleustriy2026.02.09>

## БАГАТОРІВНЕВА МОДЕЛЬ ОЦІНЮВАННЯ ВПЛИВУ ОБ'ЄКТІВ КУЛЬТУРНОЇ СПАДЩИНИ НА ВАРТІСТЬ МІСЬКИХ ЗЕМЕЛЬ І НЕРУХОМОСТІ

**Д. Л. НОВАКОВСЬКИЙ,**

*аспірант*

*E-mail: d.novakovskiy@nubip.edu.ua*

*ORCID: 0009-0001-4778-8507*

*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

**Л.Р. СКРИПНИК,**

*доктор філософії, доцент,*

*E-mail: liliia.skrypnyk@npp.nau.kai.ua*

*ORCID: 0000-0001-7349-9496*

*Державний університет «Київський авіаційний інститут»,*

**І. О. НОВАКОВСЬКА,**

*доктор економічних наук, професор,*

*член-кореспондент НААН*

*E-mail: novakovska@nubip.edu.ua*

*ORCID: 0000-0002-1473-7543*

*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

**П.Ю. РОМАХ,**

*здобувач освітнього ступеня магістр,*

*E-mail: 7444979@stud.kai.edu.ua*

*ORCID: 0009-0008-9378-3724*

*Державний університет «Київський авіаційний інститут»*

**Анотація.** У статті запропоновано багаторівневу теоретико-методичну модель оцінювання впливу об'єктів культурної спадщини на вартість міських земель і нерухомості. Актуальність дослідження зумовлена тим, що в українській практиці історичне середовище й досі переважно розглядається як обмеження для забудови, тоді як його ринковий, фіскальний і просторовий ефект лишається недостатньо вимірним. Метою статті є концептуалізація механізмів

капіталізації спадщини у вартості нерухомості та формування аналітичного інструментарію, який поєднує класичні просторові методи з новими цифровими індикаторами суспільної уваги. Методологія дослідження спирається на поєднання інституціонального аналізу, гедонічного ціноутворення, просторової економетрики, аналізу зовнішніх ефектів, а також на використання даних геоінформаційних систем, ринкового моніторингу, цифрових слідів користувачів, відгуків і фотометричних індикаторів платформеної видимості. Обґрунтовано, що вплив пам'яток на вартість проявляється через кілька каналів: естетико-символічний, туристично-комерційний, інституційно-регуляторний, інфраструктурний, репутаційний та фіскальний. Наукова новизна полягає у введенні поняття «чиста капіталізація спадщини», яка визначається як різниця між премією та дисконтом спадщини. Показано, що позитивний ціновий ефект виникає не автоматично через сам факт наявності пам'ятки, а за наявності чітко зареєстрованих режимів використання, зрозумілого охоронного договору, низької регуляторної невизначеності та достатньої спроможності власника забезпечувати утримання об'єкта. Практична значущість статті полягає у формуванні рамки для удосконалення нормативної грошової оцінки, податкової політики, містобудівного регулювання та інвестиційних рішень у межах історичних ареалів. Зроблено висновок, що охорона культурної спадщини є не витратою споживчого характеру, а довгостроковою інвестицією у підтримання цінності нерухомості, бюджетної бази громад та економічного зростання історичних територій.

**Ключові слова:** культурна спадщина; історичні ареали; вартість нерухомості; міські землі; просторова економетрика; гедонічне ціноутворення; цифрові сліди; охоронні обмеження

---

### **Актуальність проблеми**

Вартість міських земель і нерухомості формується не лише під впливом площі, локації, транспортної доступності чи інженерної забезпеченості. Для історичних міст і районів вирішальне значення мають також нематеріальні характеристики середовища: автентичність, архітектурна якість, символічний статус території, накопичена культурна пам'ять, туристична впізнаваність і регуляторний режим використання простору. Саме тому об'єкти культурної спадщини слід розглядати не як периферійний елемент міського ландшафту, а як особливий тип просторового активу, здатного впливати на структуру попиту, інтенсивність

інвестицій, розподіл комерційної активності та податкову базу територіальної громади [1; 3; 22].

У міжнародній літературі дедалі виразніше утверджується підхід, за яким спадщина оцінюється не ізольовано, а як елемент ширшої соціально-економічної системи міста [3; 22]. Для міських територій це означає, що пам'ятки, історичні ансамблі, охоронні зони та історичні ареали одночасно продукують вигоди й обмеження. Вони здатні підвищувати престиж адреси, формувати премію за середовище, стимулювати розвиток туризму, громадського харчування, креативних індустрій і малого бізнесу, але водночас можуть збільшувати витрати на утримання, накладати обмеження на реконструкцію і створювати ризик

регуляторної невизначеності. Отже, для науково коректного вимірювання впливу пам'яток на вартість нерухомості потрібно вийти за межі спрощених уявлень про «позитивний» або «негативний» ефект і перейти до аналізу чистого ефекту капіталізації.

Для України ця проблема має особливу гостроту. Вітчизняна дискусія про охорону культурної спадщини часто зводиться до питань заборон, формальної належності майна до державної або комунальної власності та конфліктів із девелопментом. Натомість значно менше уваги приділяється тому, яким чином спадщина впливає на ринкову ціну активів, на розмір податку на нерухоме майно, на інвестиційну мотивацію власників і на довгострокову економічну конкурентоспроможність історичних територій. Ще менше розроблено інструментів, які дозволяли б вимірювати цей вплив з урахуванням сучасних джерел даних – цифрових слідів, платформеної видимості, відгуків користувачів, фотопотоків і просторово-часових патернів уваги. Саме тому потрібна не просто чергова функціональна схема, а методично цілісна багаторівнева модель оцінювання, що поєднує просторову економіку, інституціональний аналіз і цифрову урбаністику.

### ***Аналіз останніх досліджень та публікацій***

Міжнародні дослідження ринку нерухомості переконливо показали, що культурна спадщина може капіталізуватися у вартості об'єктів як безпосередньо, так і через просторові spillover-ефекти. Одним із класичних емпіричних орієнтирів є праця F. Lazrak, P. Nijkamp, P. Rietveld та J. Rouwendal, у якій на основі просто-

рової гедонічної моделі для нідерландського міста Zaanstad встановлено три різні канали впливу: премію за сам статус об'єкта, премію для сусідніх будинків і премію за перебування в охоронному середовищі [5]. За даними цього дослідження, покупці готові були сплачувати додаткову ціну як за сам listed building, так і за розташування в історичному ансамблі, що підтвердило існування «ефекту історичного середовища», а не лише «ефекту окремої пам'ятки» [5]. Пізніші праці, зокрема дослідження UNESCO-інскрипції в Італії, уточнили, що позитивний ефект спадщини часто діє через туризм, доходи й процеси джентрифікації, причому найвиразніше – в урбанізованих муніципалітетах [9].

Окрема лінія досліджень стосується культурної спадщини як фактора місцевого розвитку. Праці з культурної економіки та урбаністики показують, що спадщина генерує не лише прямі ринкові вигоди, а й option value, existence value, bequest value та непрямі зовнішні ефекти для малого бізнесу, зайнятості, брендингу території й податкових надходжень [1; 3; 4; 7; 8]. У цьому контексті особливо важливою є логіка UNESCO Historic Urban Landscape, яка трактує історичне місто не як застиглий музейний об'єкт, а як живу систему, де збереження культурних ресурсів має інтегруватися з цілями соціального та економічного розвитку [3]. Нові інтегровані рамки оцінювання, зокрема індексні й багатокритеріальні, намагаються поєднати консерваційні, соціальні, інфраструктурні та економічні параметри в єдині діагностичні моделі [22].

Разом із тим класична емпірична література має кілька обмежень. По-перше, значна частина дослі-

джень спирається на гедонічні моделі, де спадщина редукується до однієї-двох змінних: відстані до пам'ятки, формального статусу або належності до історичного району. По-друге, багато моделей слабо враховують інституційний контекст: наявність або відсутність режимів використання, охоронних договорів, невизначеність дозволених робіт, практику правозастосування. По-третє, традиційні підходи лиш зрідка інтегрують цифрові джерела даних, які сьогодні дедалі точніше відображають суспільне сприйняття місця, інтенсивність його символічного споживання і реальну платформену видимість.

Саме на цьому тлі виникає новий дослідницький напрям, пов'язаний із використанням великих геоданих, соціальних медіа, street-view зображень, даних мобільності, рейтингових платформ та explainable AI. Дослідження place-oriented hedonic pricing показали, що на ціну житла впливають не лише структурні й локалізаційні характеристики, а й людська динаміка та сприйняття місця, які можуть вимірюватися на підставі масивів mobility data і візуальної аналітики [10]. Роботи, засновані на аналізі Google Maps, довели, що навіть параметри навколишніх міських визначних місць і їхня платформена популярність статистично пов'язані з цінами на нерухомість, причому цей зв'язок часто має нелінійний характер [11]. Аналіз відгуків користувачів і тематики коментарів до міської інфраструктури демонструє, що crowd-sourced data можуть бути операціоналізовані як індикатори публічного сприйняття міського середовища [13]. Соціальні медіа також дедалі частіше використовуються для виявлення ранніх ознак змін середовища, включно

з джентрифікаційним тиском і трансформацією районної репутації [12].

В українській науковій літературі сформовано важливий теоретичний ґрунт щодо управління історичними ареалами, оцінки ризиків урбанізації для культурної спадщини, реставрації, реконструкції історичних міст і ролі культурного ландшафту [2; 20; 21; 23; 24]. Однак досі недостатньо розробленими залишаються: а) економічна теорія капіталізації спадщини у вартості нерухомості; б) поєднання просторових і цифрових даних для вимірювання такого впливу; в) інституційний аналіз різниці між формою власності й реальною спроможністю охороняти пам'ятку; г) фіскальний вимір ефекту спадщини через податок на майно та бюджетні надходження. Саме ці прогалини і визначають дослідницьку нішу цієї статті.

**Метою дослідження** є розроблення багаторівневої теоретико-методичної моделі оцінювання впливу об'єктів культурної спадщини на вартість міських земель і нерухомості, яка поєднує традиційні просторово-аналітичні інструменти з новими цифровими індикаторами суспільної уваги, репутації та використання місця.

Для досягнення поставленої мети вирішувалися такі завдання:

1) систематизувати економічні канали, через які пам'ятки та історичне середовище впливають на ринок нерухомості;

2) узагальнити традиційні методи оцінювання ефекту спадщини на основі геоданих і ринкового моніторингу;

3) обґрунтувати можливість використання нових джерел даних – відгуків, рейтингів, фотопотоків, соціальних медіа, візуальної аналітики й цифрових маршрутів;

4) сформулювати поняття чистої капіталізації спадщини та запропонувати її аналітичну структуру;

5) довести, що охорона пам'ятки визначається не формою власності як такою, а якістю інституційного режиму: зареєстрованими обмеженнями, охоронним договором, контрольованістю використання, спроможністю до утримання і прогнозованістю пражозастосування;

6) виявити фіскальні й просторові екстерналії зростання або зниження вартості нерухомості в історичних ареалах.

### ***Матеріали і методи дослідження***

Дослідження має теоретико-методичний характер і спирається на поєднання кількох груп методів. По-перше, використано інституціональний аналіз норм українського законодавства у сфері охорони культурної спадщини, зокрема положень про режими використання пам'яток, історичні ареали та охоронні договори [16–18]. По-друге, застосовано методи економіки нерухомості та земельних відносин, передусім гедонічний підхід, який дозволяє розкласти ринкову ціну об'єкта на вартість окремих характеристик – структурних, локалізаційних, середовищних та інституційних [5; 10; 11; 14]. По-третє, використано інструменти просторової економетрики, які враховують просторову залежність, дифузію цінових ефектів і неоднорідність впливу спадщини залежно від масштабу та конфігурації історичного середовища [5; 10].

Матеріальну основу запропонованої моделі становлять п'ять груп даних. Перша група – класичні ринкові дані: ціни угод або експозиції,

тип об'єкта, площа, технічний стан, поверховість, функціональне призначення, рік побудови, характеристики ділянки. Друга група – просторові дані: координати об'єкта, відстань до пам'яток, зон охорони, туристичних магнітів, центральних місць, зупинок громадського транспорту, зелених зон, маршрутів пішохідної доступності. Третя група – інституційні дані: статус пам'ятки, наявність охоронного договору, науково-проектної документації, режимів використання, обмежень щодо реконструкції, висотності, фасадних змін, допустимих функцій. Четверта група – фінансово-організаційні дані: витрати на утримання, джерела фінансування, тип власника, наявність співфінансування чи пільг, інвестиційні програми ревіталізації. П'ята група – цифрові сліди: кількість і динаміка відгуків, середній рейтинг, тематична структура коментарів, обсяг завантажених фотографій, візуальна насиченість зображень, частота згадувань у соціальних медіа, геотеговані маршрути, ознаки людської мобільності, дані street-view або інших джерел візуального сприйняття середовища [10–15].

Методична логіка дослідження складається з трьох рівнів. На першому рівні оцінюється базовий просторовий ефект спадщини через відстань до пам'ятки, щільність об'єктів спадщини в радіусі, належність до історичного ареалу та доступність ключових міських функцій. На другому рівні в модель вводяться змінні регуляторної визначеності: формалізовані режими використання, охоронний договір, правова передбачуваність, наявність зафіксованих вимог до втручання. На третьому рівні до аналізу додаються індикатори суспільної уваги й платформеної видимості, які

відображають не потенційну, а фактично реалізовану символічну та туристичну цінність місця.

Узагальнену специфікацію запропонованої моделі можна подати у вигляді:

$$Vi = f(Hi, Ri, Di, Ci, Xi, Wi),$$

де  $V_i$  – ринкова вартість  $i$ -го об'єкта;  $H_i$  – просторовий вплив спадщини (heritage exposure);  $R_i$  – параметри регуляторного режиму;  $D_i$  – цифрові індикатори суспільної уваги і репутації;  $C_i$  – параметри спроможності утримання і фізичного стану;  $X_i$  – набір контрольних структурних та локалізаційних змінних;  $W_i$  – матриця просторових зв'язків. Така постановка дозволяє перейти від вузького питання «чи підвищує пам'ятка вартість?» до складнішого, але значно науково продуктивнішого питання: «за яких умов, через які канали і в якій конфігурації спадщина капіталізується або, навпаки, дисконтується в ціні нерухомості?»

Для інтерпретації результатів запропоновано використовувати принцип explainable valuation: якщо застосовуються алгоритми машинного навчання, їх висновки мають бути доповнені інтерпретованими показниками внеску окремих змінних та перевірені на відповідність професійному стандарту прозорості [15]. Це особливо важливо для сфер, де результати оцінки впливають на оподаткування, компенсаційні механізми, містобудівні умови та судові спори.

## **Результати дослідження та їх обговорення**

### *1. Економічна природа впливу пам'яток на вартість нерухомості*

З економічної точки зору пам'ятка впливає на ціну нерухомості не безпосередньо, а через зміну потоку

вигід і витрат, які очікує власник, покупець, орендар або інвестор. Будь-яка ціна нерухомості є теперішньою капіталізацією очікуваних майбутніх переваг і ризиків, пов'язаних із користуванням активом. Якщо пам'ятка або історичне середовище підвищують престиж адреси, туристичний потік, пішохідну активність, символічну впізнаваність місця, комерційний трафік, естетичну якість середовища чи репутацію району, то ці ефекти трансформуються в премію спадщини. Якщо ж історичний статус асоціюється з високими трансакційними витратами, невизначеністю дозволених дій, фізичним занепадом об'єкта, дефіцитом ресурсів на утримання або надмірним туристичним навантаженням, формується дисконт спадщини.

На цій підставі в роботі вводиться поняття чистої капіталізації спадщини (ЧКС), під якою пропонується розуміти різницю між премією спадщини (СП) та дисконтом спадщини (СД):

$$\text{ЧКС} = \text{СП} - \text{СД},$$

де СП – сукупність позитивних ефектів, капіталізованих у вартості; СД – сукупність негативних ефектів, які зменшують ціну або підвищують норму дисконтування для об'єкта.

Така постановка є принциповою, оскільки знімає хибну дихотомію, за якою культурна спадщина або «завжди підвищує вартість», або «завжди заважає розвитку». Насправді ринковий результат залежить від співвідношення щонайменше шести груп чинників: естетико-символічних, туристично-комерційних, регуляторно-інституційних, інфраструктурних, експлуатаційно-витратних і репутаційно-цифрових. Саме тому одна й та сама пам'ятка може створювати цінову премію для сусіднього ресторану, але дисконт для занедбаного будинку без зрозумілого

## 1. Канали впливу культурної спадщини на вартість міських земель і нерухомості

Канал впливу	Економічний зміст	Потенційний знак ефекту	Типові індикатори
Естетико-символічний	Підвищення престижу адреси, якості візуального середовища, ідентичності місця	Переважає позитивний	архітектурна цілісність, видимість пам'ятки, оцінка середовища
Туристично-комерційний	Зростання відвідуваності, пішохідного трафіку, попиту на оренду й послуги	Позитивний / змішаний	потік відвідувачів, кількість закладів, оборот комерції
Регуляторно-інституційний	Вплив обмежень і передбачуваності режиму використання на інвестиційний ризик	Позитивний за високої визначеності, негативний за невизначеності	охоронний договір, режими використання, тривалість погоджень
Інфраструктурний	Поліпшення або недорозвиненість доступу, благоустрою, громадських просторів	Змішаний	доступність транспорту, пішохідні маршрути, благоустрій
Витратний	Необхідність ремонтів, реставрації, спеціальних матеріалів, дотримання режимів	Переважає негативний для окремого власника	витрати на утримання, вартість реставрації, технічний стан
Репутаційно-цифровий	Онлайн-видимість, рейтинги, відгуки, фотопотоки як сигнали ринкової уваги	Позитивний / змішаний	рейтинг, кількість відгуків, тональність, кількість фото

Джерело: узагальнено авторами на основі [1; 3–5; 9–15; 22].

правового режиму і без доступу до фінансування реставрації.

*2. Традиційні методи оцінювання: від відстані до пам'ятки до просторової гедоніки*

Традиційний інструментарій оцінювання впливу пам'яток на ринок нерухомості ґрунтується на просторовому аналізі та геоданих. У найпростішому варіанті дослідник використовує показники відстані до об'єкта культурної спадщини, приналежності до історичного ареалу або щільності пам'яток у певному радіусі навколо нерухомості. Ці змінні вводяться в гедонічну модель разом із базовими характеристиками нерухомості та локалізації. Такий підхід є корисним як стартова оцінка, однак він суттєво спрощує реальний механізм впливу спадщини.

Більш розвинуті підходи враховують просторову автокореляцію і дифузію цінкових ефектів, коли ціна

конкретного об'єкта залежить не лише від його власних характеристик, а й від структури цін у сусідньому середовищі. Саме тому сучасні міжнародні дослідження дедалі частіше використовують SAR-, SEM-, SDM-, GWR-моделі, багаторівневі регресії, event study-дизайни та підходи difference-in-differences [5; 9; 14]. Для спадщини це особливо важливо, оскільки історичний ефект часто має нелінійний характер: максимальна цінова премія виникає не в точці фізичної близькості до пам'ятки, а в зоні оптимального балансу між привабливістю та зручністю використання, де позитивні зовнішні ефекти ще не нівелюються туристичним тиском, шумом або транспортними обмеженнями.

У вітчизняному контексті традиційний просторовий підхід має бути розширений щонайменше трьома елементами. По-перше, необхідно відрізнити ефект окремої пам'ятки

від ефекту ансамблю, кварталу чи історичного ареалу. Премія, породжена цілісним історичним середовищем, зазвичай є більш стійкою, ніж премія від ізольованого об'єкта в деградованому контексті. По-друге, відстань повинна доповнюватися показниками доступності: не просто скільки метрів до пам'ятки, а скільки хвилин пішого руху до неї, наскільки вона вбудована в публічний маршрут, чи є вона видимою з основних громадських просторів. По-третє, важливо враховувати формальну і фактичну регуляторну географію – межі історичних ареалів, зон охорони пам'яток, буферних зон, режимних кварталів, а також ступінь їх документальної визначеності [16–18; 20].

*3. Нові цифрові інструменти: від платформеної видимості до аналізу публічних емоцій*

Сучасне міське середовище оцінюється ринком не лише через фізичну близькість до цінних об'єктів, а й через їхню медійну, платформену й соціальну присутність. Якщо класична урбаністика працювала з картою і кадастром, то цифрова урбаністика працює також із «картою уваги».

Кількість відгуків про пам'ятку або квартал, середня оцінка місця, динаміка завантаження фотографій, частота згадувань у соціальних медіа, тематика коментарів, фотографічна насиченість маршруту – усе це є непрямыми, але інформативними показниками того, наскільки місце реально присутнє у спільній уяві мешканців, туристів і бізнесу [11–13].

Саме тому пропонується розглядати цифрові сліди як індикатори не тільки популярності, а й економічної активності спадщини. Якщо об'єкт культурної спадщини має високий рейтинг, велику кількість відгуків, стабільний фотопотік і позитивну тематичну структуру коментарів, це означає, що його культурна значущість уже не є лише нормативно зафіксованою, а стала частиною повсякденної практики споживання міського простору. Така «активована спадщина» з більшою ймовірністю капіталізується у вартості прилеглої комерційної нерухомості, короткострокової оренди, закладів харчування, туристичного сервісу, а згодом – і житлових активів.

Водночас цифрові індикатори не можна розглядати як просту заміну

## **2. Традиційні та нові джерела даних для оцінювання впливу спадщини**

<b>Група даних</b>	<b>Зміст</b>	<b>Переваги</b>	<b>Обмеження</b>
Ринкові дані	ціни угод, орендні ставки, характеристики об'єктів	безпосередньо відображають капіталізовану вартість	неповнота, різні стандарти якості, лаги оновлення
Геодані	координати пам'яток, межі ареалів, транспорт, благоустрій	придатні для GIS-аналізу та моделювання spillover-ефектів	не фіксують репутаційні та емоційні чинники
Нормативно-правові дані	режими використання, охоронні договори, документація	дозволяють оцінити регуляторну визначеність	часто фрагментарні або неповно оцифровані
Дані моніторингу середовища	технічний стан, інвестиції, туристичний потік	дають змогу оцінити підтримання цінності	потребують регулярного збору
Цифрові сліди	відгуки, рейтинги, фото, маршрути, згадування	фіксують фактичну суспільну увагу і сприйняття	репрезентативність, платформені перекося, правові обмеження

Джерело: складено авторами.

### 3. Запропонований блок цифрових індикаторів оцінювання впливу спадщини

Індикатор	Зміст	Джерело даних	Можливе економічне трактування
Індекс платформеної видимості	кількість відгуків, частота згадувань, динаміка уваги	картографічні сервіси, соціальні мережі	ступінь ринкової впізнаваності місця
Індекс репутації	середній рейтинг і тональність коментарів	Google Maps та інші публічні платформи	очікувана якість середовища для споживача
Індекс візуальної інтенсивності	кількість фото, різноманіття ракурсів, стабільність фотопотoku	фотоплатформи, відкриті галереї	естетична та туристична привабливість
Індекс маршрутної включеності	щільність геотегованих маршрутів, пішохідна прохідність	мобільні та геопросторові дані	комерційний трафік і доступність
Індекс емоційного сприйняття	частка позитивних/негативних описів, тематика цінності	NLP-аналіз коментарів	якість символічного капіталу території

Джерело: складено авторами.

офіційних даних. Вони повинні виступати комплементарним шаром аналізу. По-перше, онлайн-репутація може бути маніпульованою або соціально зміщеною. По-друге, популярність пам'ятки не завжди означає позитивний вплив для резидентів: місце може отримувати високі оцінки від туристів і водночас погіршувати життєву якість мешканців через шум, навантаження на інфраструктуру та зростання рент. По-третє, цифрові сліди відображають переважно поведінку платформено активних груп, а тому потребують корекції на демографічну й просторову репрезентативність [12; 13].

Попри ці застереження, включення цифрових слідів у модель оцінювання є методично виправданим. Дослідження на основі Google Maps довели, що характеристики визначних місць (amenities) та їхня популярність пов'язані з цінами на житло нелінійно, а машинне навчання дозволяє виявляти ті залежності, які слабко читаються в лінійних регресіях [11]. Інші дослідження показали можливість використовувати тексти відгуків як джерело структурованої інформації

про тональність, тему й сприйняту функціональність об'єкта [13]. Таким чином, для історичних територій доцільно формувати окремий цифровий блок показників: індекс платформеної видимості, індекс позитивної тональності, індекс візуальної інтенсивності, індекс маршрутної включеності та індекс сезонної уваги (табл. 3).

#### 4. Модель чистої капіталізації спадщини

Головна теоретична пропозиція проведеного дослідження полягає в тому, що вплив пам'яток на вартість нерухомості слід вимірювати не як ефект «наявності культурної спадщини», а як результат взаємодії трьох режимів: режиму видимості, режиму визначеності та режиму спроможності.

Режим видимості показує, наскільки пам'ятка є включеною в реальне використання міського простору – пішохідні маршрути, туристичні траєкторії, споживчі сценарії, візуальні практики, цифрові платформи. Невидима пам'ятка, навіть дуже цінна в історико-культурному сенсі, слабко капіталізується в ціні нерухомості.

Режим визначеності відображає якість інституційного оформлення

спадщини: чи встановлено межі і режими використання, чи існує охоронний договір, чи зрозумілі правила втручання, чи низькі ризики довільної зміни адміністративної практики. Саме регуляторна визначеність перетворює пам'ятку з джерела невизначеності на джерело стабільного просторового активу [16–18].

Режим спроможності характеризує наявність у власника або користувача фінансових, організаційних і управлінських ресурсів для підтримання фізичного стану об'єкта. Якщо пам'ятка занедбана, а її власник – незалежно від того, чи є він державним, комунальним або приватним – не здатен забезпечити ремонт, консервацію, реставрацію й належне використання, позитивна премія спадщини швидко еродує й переходить у дисконт.

У межах цієї теорії пропонується така інтерпретація із чотирма сценаріями:

1) висока видимість + висока визначеність + висока спроможність = стійка премія за спадщину;

2) висока видимість + низька визначеність = волатильна премія або спекулятивне зростання з підвищеним ризиком;

3) низька видимість + висока визначеність = консерваційно захищений, але слабко капіталізований актив;

4) низька спроможність за будь-якої форми власності = деградація фізичного середовища і поступове зникнення премії за спадщину.

Це дозволяє подолати спрощений підхід, у якому спадщину вважають самодостатнім «драйвером ціни». Насправді драйвером ціни є не просто культурна цінність, а інституційно підтримана та соціально активована культурна цінність. Саме в цьому полягає ключова відмінність між абстрактною

«пам'яткою на папері» та реально капіталізованим об'єктом спадщини.

*5. Щодо помилковості тези про те, що публічна власність автоматично захищає пам'ятки*

Одним із найстійкіших міфів пострадянської політики у сфері культурної та археологічної спадщини є припущення, що державна або комунальна форма власності сама по собі краще захищає пам'ятки, ніж приватна. З інституціональної точки зору це припущення є методично некоректним. Форма власності лише визначає носія правомочностей і обов'язків; вона не гарантує ані ресурсів на утримання, ані якості управління, ані дотримання режиму використання. Українське законодавство прямо встановлює, що власник або користувач пам'ятки зобов'язаний утримувати її в належному стані, своєчасно проводити ремонт і захищати від пошкодження, руйнування або знищення, а використання пам'ятки має здійснюватися відповідно до визначених режимів використання [16]. Отже, охоронна логіка права прив'язана не до публічності чи приватності власника, а до виконання конкретних охоронних вимог.

Більше того, законодавча конструкція історичних ареалів та охоронних договорів показує, що ключовими інструментами захисту є саме режимність і формалізація обмежень: встановлення меж ареалу, визначення допустимих втручань, укладення охоронного договору, ведення науково-проектної документації, адміністративний нагляд [17; 18]. Якщо ці елементи відсутні, навіть перебування пам'ятки у державній або комунальній власності не створює ефективного механізму захисту.

З економічного погляду публічна власність часто має структурні

проблеми, які можуть зменшувати ймовірність належного збереження пам'ятки: розпорошення відповідальності, відсутність чіткого residual claimant (залишкового претендента), бюджетні обмеження, низьку швидкість прийняття рішень, політичну мінливість пріоритетів, складність залучення довгострокових інвестицій. Для держави та територіальних громад характерним є дефіцит коштів на утримання великих масивів нерухомості, унаслідок чого об'єкти спадщини можуть роками перебувати в стані недофінансування. У такому випадку публічна власність не захищає пам'ятку, а лише відтермінує її повне руйнування адміністративними засобами.

Водночас приватна власність також не гарантує збереження. Без чітких, вимірюваних і контрольованих обмежень приватний власник може прагнути максимізувати короткострокову ренту шляхом агресивної перебудови, фасадних спотворень або руйнівного пристосування. Отже, правильне твердження полягає не в тому, що «приватна» чи «публічна»

власність краща, а в тому, що ефективна охорона культурної спадщини виникає лише тоді, коли право власності обтяжене прозорим охоронним режимом, забезпечене наглядом, підкріплене фінансовими механізмами утримання та інтегроване в систему ринкових стимулів.

*6. Екстерналії впливу спадщини: від податку на майно до економічного зростання*

Зростання вартості нерухомості в історичних ареалах має не лише приватний, а й публічний вимір. Якщо культурна спадщина підвищує ціну житлової й комерційної нерухомості, то зростає і база оподаткування майна, що, за належного налаштування місцевих податків, повинно відобразитися у фінансовій спроможності громади [19]. У цьому сенсі охорона спадщини створює фіскальну екстерналію: частина вигід від культурної цінності повертається у місцевий бюджет і потенційно може бути реінвестована в утримання історичного середовища. В ідеальній конструкції виникає замкнений цикл: охорона →

#### 4. Матриця охоронної результативності залежно від режиму обмежень та спроможності власника

Форма власності	Чіткі охоронні обмеження	Спроможність до утримання	Імовірний результат для пам'ятки	Очікуваний ефект для вартості середовища
Публічна	Ні	Низька	формальна охорона без реального збереження; деградація	дисконт через занепад і невизначеність
Публічна	Так	Низька	частковий захист, але відкладені ремонти й накопичення зносу	слабка або нестійка премія
Публічна	Так	Висока	стабільне збереження, можливість ревіталізації	позитивна премія
Приватна	Ні	Висока	високий ризик руйнівного пристосування або спотворення	короткострокове зростання, довгостроковий ризик
Приватна	Так	Низька	дотримання режиму ускладнене браком ресурсів	нейтральний або негативний ефект
Приватна	Так	Висока	найкращі умови для збереження та економічної активізації	стійка позитивна премія

Джерело: авторська розробка

підвищення якості середовища → зростання ринкової вартості → розширення податкової бази → додаткові ресурси на збереження.

Однак цей цикл не є автоматичним. По-перше, в Україні зв'язок між зростанням ринкової вартості, оціночною базою і бюджетною політикою залишається опосередкованим. По-друге, без спеціальних механізмів повернення частини приросту вартості на потреби збереження виникає класична проблема неспівпадіння приватного вигаду і публічних витрат. Власники отримують премію від престижу історичного середовища, але витрати на його підтримання часто лягають на публічний бюджет або не несуться взагалі. Саме тому доцільно обговорювати механізми *capture of value* – від цільових програм співфінансування реставрації до інструментів часткового вилучення спадщинної ренти в інтересах охорони середовища [6].

Поряд із позитивними фіскальними екстерналіями існують і негативні. Зростання цін може прискорювати витіснення менш платоспроможних мешканців, змінювати соціальну структуру історичних кварталів, стимулювати перетворення житла на короткострокову оренду, збільшувати спекулятивний тиск на ділянки й підсилювати конфлікт між повсякденним життям і туристичним споживанням місця [9; 13]. Отже, оцінювання впливу пам'яток на вартість нерухомості не може обмежуватися лише фіксацією премії; воно має включати аналіз розподілу вигід і витрат між власниками, мешканцями, бізнесом і громадою.

#### *7. Методичні висновки для України*

Для українських міст найбільш продуктивною видається поетапна модель оцінювання. На першому ета-

пі слід формувати єдиний геопросторовий шар історичних ареалів, зон охорони, пам'яток і обмежень використання. На другому – інтегрувати його з масивами ринкового моніторингу нерухомості та земельних ділянок. На третьому – додавати цифрові індикатори платформеної видимості, репутації та візуальної активності. На четвертому – будувати просторову гедонічну або гібридну explainable AI-модель, яка дозволить окремо оцінити внесок регуляторних, культурних, цифрових та інфраструктурних факторів. На п'ятому – переводити результати в управлінські рішення: режимування, податкові налаштування, програми ревіталізації, договори співфінансування, пріоритезацію публічних інвестицій.

Ключовим методичним принципом має стати відмова від оцінювання спадщини лише як «охоронного тягаря». Пам'ятка є особливим видом капіталу – нерепродукованого, просторово фіксованого, символічно насиченого й чутливого до якості інституційного управління. У цьому сенсі охорона спадщини – це не альтернатива економічному розвитку, а один із його інструментів. Там, де культурний ресурс стає зрозумілим, керованим і інтегрованим у ринок та міську політику, він підвищує цінність середовища. Там, де пам'ятка лишається юридично невизначеною, фізично занедбаною й фінансово беззахисною, вона перетворюється на джерело деградації й цінового дисконту.

#### ***Висновки і перспективи подальших досліджень***

У статті обґрунтовано, що вплив об'єктів культурної спадщини на вартість міських земель і нерухомо-

сті має багатоканальний характер і не може бути адекватно описаний лише через відстань до пам'ятки або формальний статус об'єкта. Запропоновано концепт чистої капіталізації спадщини як різниці між премією та дисконтом спадщини. Це дозволяє пояснювати як позитивні, так і негативні ефекти спадщини в залежності від поєднання просторової привабливості, регуляторної визначеності та спроможності власника забезпечувати належне утримання.

Показано, що традиційні методи оцінювання – гедонічне ціноутворення, просторовий аналіз, GIS-моделювання, аналіз ринкового моніторингу – залишаються базовими і необхідними. Однак для сучасних історичних територій вони мають бути доповнені новими цифровими інструментами: аналізом соціальних мереж, коментарів і рейтингів на картографічних сервісах, фотопотоків, геотегованих маршрутів, візуальної аналітики та інших показників фактичної суспільної уваги до місця. Саме поєднання цих джерел дає змогу перейти від статичного вимірювання спадщини до аналізу її реально активованої ринком цінності.

Теоретично доведено хибність уявлення про те, що публічна власність автоматично захищає пам'ятки. Захист забезпечується не формою власності, а інституційною якістю режиму охорони: чітко зареєстрованими та вимірюваними обмеженнями, охоронним договором, наглядом, передбачуваністю правозастосування та ресурсною спроможністю власника. За відсутності цих елементів державна або комунальна власність може так само призводити до деградації пам'ятки, як і приватна.

З'ясовано, що зростання вартості нерухомості в історичних ареалах

породжує важливі екстерналії: збільшення податкової бази, зростання інвестиційної привабливості, розширення можливостей локального бізнесу, але також ризики соціального витіснення, туристичного перевантаження й спекулятивного тиску. Тому охорона культурної спадщини повинна розглядатися як інвестиція у підтримання цінності нерухомості, фінансової спроможності громад і довгострокового економічного зростання історичних територій.

Перспективи подальших досліджень пов'язані з емпіричною апробацією запропонованої моделі на українських історичних містах, побудовою панельних баз даних по угодах і орендах, розробленням індексу цифрової видимості пам'яток, а також із дослідженням механізмів фіскального capture of value, які дозволять спрямовувати частину премії спадщини на відтворення і збереження історичного середовища.

---

#### **Список використаної літератури**

1. Федорович О., Рубановський К. Економіка спадщини: посібник для малих громад. Івано-Франківськ: Туристична асоціація Івано-Франківщини; ТОВ «Знати про Закарпаття», 2019. 120 с.
2. Консервація і реставрація об'єктів культурної спадщини / за ред. І. Прокопенко. Київ: Саміт-книга, 2022. 434 с.
3. UNESCO. Recommendation on the Historic Urban Landscape. Paris: UNESCO, 2011. URL: <https://whc.unesco.org/en/hul/> (дата звернення: 22.04.2026).
4. Mason R. Economics and Historic Preservation: A Guide and Review of the Literature. Washington, DC: The Brookings Institution Metropolitan Policy Program, 2005. 75 p.
5. Lazrak F., Nijkamp P., Rietveld P.,

- Rouwendaal J. The market value of cultural heritage in urban areas: an application of spatial hedonic pricing. *Journal of Geographical Systems*. 2014. Vol. 16, Issue 1. P. 89–114. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10109-013-0188-1>.
6. Wu J., Hu Y., Wang Q., Chen Y., He Q., Ta N. Exploring value capture mechanisms for heritage protection under public leasehold systems: A case study of West Lake Cultural Landscape. *Cities*. 2019. Vol. 86. P. 198–209. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cities.2018.09.014>.
  7. Panzera E., de Graaff T., de Groot H. L. F. European cultural heritage and tourism flows: The magnetic role of superstar World Heritage Sites. *Papers in Regional Science*. 2021. Vol. 100, Issue 1. P. 101–123. DOI: <https://doi.org/10.1111/pirs.12562>.
  8. Muštra V., Škrabić Perić B., Pivčević S. Cultural heritage sites, tourism and regional economic resilience. *Papers in Regional Science*. 2023. Vol. 102, Issue 3. P. 465–483. DOI: <https://doi.org/10.1111/pirs.12731>.
  9. Bertacchini E., Revelli F., Zotti R. The economic impact of UNESCO World Heritage: Evidence from Italy. *Regional Science and Urban Economics*. 2024. Vol. 105. Article 103996. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.regsciurbeco.2024.103996>.
  10. Kang Y., Zhang F., Gao S., Peng W., Ratti C. Human settlement value assessment from a place perspective: Considering human dynamics and perceptions in house price modeling. *Cities*. 2021. Vol. 118. Article 103333. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cities.2021.103333>.
  11. Taecharungroj V. Google Maps amenities and condominium prices: Investigating the effects and relationships using machine learning. *Habitat International*. 2021. Vol. 118. Article 102463. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2021.102463>.
  12. Comber A., Kieu M., Bui Q.-T., Malleson N. Using social media data to identify neighbourhood change. *AGILE: GIScience Series*. 2024. Vol. 5. Article 20. DOI: <https://doi.org/10.5194/agile-giss-5-20-2024>.
  13. Xiong Y., Liang J., Guan C. Decoding public sentiment topics in Google Map reviews on urban infrastructure development of Belt and Road Initiative. *Scientific Reports*. 2025. Vol. 15. Article 21363. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-025-06451-6>.
  14. Kee T., Chau K. W. An empirical study on the economic factors of the architectural industrial heritage of Hong Kong via the hedonic pricing model. *Built Heritage*. 2025. Vol. 9. Article 19. DOI: <https://doi.org/10.1186/s43238-025-00193-0>.
  15. Yiu C. Y., Cheung K. S. Enhancing Explainable AI Land Valuations Reporting for Consistency, Objectivity, and Transparency. *Land*. 2025. Vol. 14, Issue 5. Article 927. DOI: <https://doi.org/10.3390/land14050927>.
  16. Про охорону культурної спадщини: Закон України від 08.06.2000 № 1805-III // База даних «Законодавство України» / Верховна Рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/1805-14> (дата звернення: 21.04.2026).
  17. Про затвердження Порядку укладення охоронних договорів на пам'ятки культурної спадщини, щойно виявлені об'єкти культурної спадщини чи їх частини: Постанова Кабінету Міністрів України від 28.12.2001 № 1768 // База даних «Законодавство України» / Верховна Рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/1768-2001-%D0%BF> (дата звернення: 12.04.2026).
  18. Про затвердження Порядку визначення меж та режимів використання історичних ареалів населених місць, обмеження господарської діяльності на території історичних ареалів населених місць: Постанова Кабінету Міністрів України від 13.03.2002 № 318 // База даних «Законодавство України» / Верховна Рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/318-2002-%D0%BF> (дата звернення: 12.04.2026).

19. Податковий кодекс України: Кодекс України від 02.12.2010 № 2755-VI // База даних «Законодавство України» / Верховна Рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/2755-17> (дата звернення: 01.04.2026)
20. Мартин А. Г., Новаковська І. О., Новаковський Д. Л. Управління історико-культурною цінністю територій через формування історичних ареалів міст. *Землеустрій, кадастр і моніторинг земель*. 2024. № 1. С. 35–48. DOI: <http://dx.doi.org/10.31548/zemleustriy2024.01.03>.
21. Новаковська І. О., Береза О. І., Новаковський Д. Л. Оцінка ризиків для культурної спадщини в умовах урбанізації. *Наукові перспективи. Серія «Економіка»*. 2024. № 1(43). С. 514–526. DOI: [https://doi.org/10.52058/2708-7530-2024-1\(43\)-514-525](https://doi.org/10.52058/2708-7530-2024-1(43)-514-525).
22. Vinod V., Sarkar S., Roy S. From Heritage Valuation to Evidence-Based Computational Heritage Town Planning: Methodological Development and Application of the Cultural Heritage Town Development Index. *Urban Science*. 2025. Vol. 9, Issue 12. Article 514. DOI: <https://doi.org/10.3390/urbansci9120514>.
23. Гуменюк Т., Сом-Сердюкова О. Підступи до дискурсу про культурний ландшафт: крос-європейський підхід. *Наукові записки НАУКМА. Історія і теорія культури*. 2020. Т. 3. С. 5–12. DOI: <https://doi.org/10.18523/2617-8907.2020.3.5-12>.
24. Кулиняк І. Я., Карий О. І., Прокопишин-Рашкевич Л. М., Огінок С. В., Бондаренко Ю. Г. Європейський досвід популяризації історичної спадщини та культурного туризму: навчальний посібник. Львів: Растр-7, 2023. 254 с.
- A guide for small communities]. Ivano-Frankivsk: Turystychna asotsiatsiia Ivano-Frankivshchyny; TOV “Znaty pro Zakarpattia”. 120. [in Ukrainian]
2. Prokopenko, I. (Ed.). (2022). *Konservatsiia i restavratsiia ob'ektiv kulturnoi spadshchyny* [Conservation and restoration of cultural heritage objects]. Kyiv: Samit-knyha. 434. [in Ukrainian]
3. UNESCO. (2011). Recommendation on the Historic Urban Landscape. Available at: <https://whc.unesco.org/en/hul/>
4. Mason, R. (2005). *Economics and historic preservation: A guide and review of the literature*. Washington, DC: The Brookings Institution Metropolitan Policy Program. 75 p.
5. Lazrak, F., Nijkamp, P., Rietveld, P., & Rouwendal, J. (2014). The market value of cultural heritage in urban areas: An application of spatial hedonic pricing. *Journal of Geographical Systems*, 16(1), 89–114. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10109-013-0188-1>
6. Wu, J., Hu, Y., Wang, Q., Chen, Y., He, Q., & Ta, N. (2019). Exploring value capture mechanisms for heritage protection under public leasehold systems: A case study of West Lake Cultural Landscape. *Cities*, 86, 198–209. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cities.2018.09.014>
7. Panzera, E., de Graaff, T., & de Groot, H. L. F. (2021). European cultural heritage and tourism flows: The magnetic role of superstar World Heritage Sites. *Papers in Regional Science*, 100(1), 101–123. DOI: <https://doi.org/10.1111/pirs.12562>
8. Muštra, V., Škrabić Perić, B., & Pivčević, S. (2023). Cultural heritage sites, tourism and regional economic resilience. *Papers in Regional Science*, 102(3), 465–483. DOI: <https://doi.org/10.1111/pirs.12731>
9. Bertacchini, E., Revelli, F., & Zotti, R. (2024). The economic impact of UNESCO World Heritage: Evidence from Italy. *Regional Science and Urban Economics*,

---

### References

1. Fedorovych, O., & Rubanovskyi, K. (2019). *Ekonomika spadshchyny: posibnyk dlia malykh hromad* [Economics of heritage:

- 105, Article 103996. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.regsciurbeco.2024.103996>
10. Kang, Y., Zhang, F., Gao, S., Peng, W., & Ratti, C. (2021). Human settlement value assessment from a place perspective: Considering human dynamics and perceptions in house price modeling. *Cities*, 118, Article 103333. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cities.2021.103333>
  11. Taecharungroj, V. (2021). Google Maps amenities and condominium prices: Investigating the effects and relationships using machine learning. *Habitat International*, 118, Article 102463. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2021.102463>
  12. Comber, A., Kieu, M., Bui, Q.-T., & Malleson, N. (2024). Using social media data to identify neighbourhood change. *AGILE: GIScience Series*, 5, Article 20. DOI: <https://doi.org/10.5194/agile-giss-5-20-2024>
  13. Xiong, Y., Liang, J., & Guan, C. (2025). Decoding public sentiment topics in Google Map reviews on urban infrastructure development of Belt and Road Initiative. *Scientific Reports*, 15, Article 21363. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-025-06451-6>
  14. Kee, T., & Chau, K. W. (2025). An empirical study on the economic factors of the architectural industrial heritage of Hong Kong via the hedonic pricing model. *Built Heritage*, 9, Article 19. DOI: <https://doi.org/10.1186/s43238-025-00193-0>
  15. Yiu, C. Y., & Cheung, K. S. (2025). Enhancing explainable AI land valuations reporting for consistency, objectivity, and transparency. *Land*, 14(5), Article 927. DOI: <https://doi.org/10.3390/land14050927>
  16. Verkhovna Rada Ukrainy. (2000). Pro okhoronu kulturnoi spadshchyny: Zakon Ukrainy № 1805-III [On protection of cultural heritage: Law of Ukraine No. 1805-III]. Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/go/1805-14> [in Ukrainian]
  17. Kabinet Ministriv Ukrainy. (2001). Pro zatverdzhennia Poriadku ukladennia okhoronnykh dohovoriv na pam'iatky kulturnoi spadshchyny...: Postanova № 1768 [On approval of the procedure for concluding protection agreements...: Resolution No. 1768]. Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/go/1768-2001-%D0%BF> [in Ukrainian]
  18. Kabinet Ministriv Ukrainy. (2002). Pro zatverdzhennia Poriadku vyznachennia mezh ta rezhymiv vykorystannia istorychnykh arealiv...: Postanova № 318 [On approval of the procedure for defining boundaries and usage regimes...: Resolution No. 318]. Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/go/318-2002-%D0%BF> [in Ukrainian]
  19. Verkhovna Rada Ukrainy. (2010). Podatkovi kodeks Ukrainy № 2755-VI [Tax Code of Ukraine No. 2755-VI]. Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/go/2755-17> [in Ukrainian]
  20. Martyn, A. H., Novakivska, I. O., & Novakovskiy, D. L. (2024). Upravlinnia istoryko-kulturnoiu tsinnistiu terytorii cherez formuvannia istorychnykh arealiv mist [Management of historical and cultural value of territories through the formation of historical areas of cities]. *Zemleustrii, kadastr i monitorynh zemel*, 1, 35–48. DOI: <http://dx.doi.org/10.31548/zemleustriy2024.01.03> [in Ukrainian]
  21. Novakivska, I. O., Bereza, O. I., & Novakovskiy, D. L. (2024). Otsinka ryzykiv dlia kulturnoi spadshchyny v umovakh urbanizatsii [Risk assessment for cultural heritage under urbanization]. *Naukovi perspektyvy. Seriya "Ekonomika"*, 1(43), 514–526. DOI: [https://doi.org/10.52058/2708-7530-2024-1\(43\)-514-525](https://doi.org/10.52058/2708-7530-2024-1(43)-514-525) [in Ukrainian]
  22. Vinod, V., Sarkar, S., & Roy, S. (2025). From heritage valuation to evidence-based computational heritage town planning: Methodological development and application of the cultural heritage town development index. *Urban Science*, 9(12), Article 514. DOI: <https://doi.org/10.3390/urbansci9120514>

23. Humeniuk, T., & Som-Serdiukova, O. (2020). Pidstupy do dyskursu pro kulturnyi landshaft: kros-ievropeyskiy pidkhid [Approaches to the discourse on cultural landscape: A cross-European perspective]. *Naukovi zapysky NaUKMA. Istorii i teoriia kultury*, 3, 5–12. DOI: <https://doi.org/10.18523/2617-8907.2020.3.5-12> [in Ukrainian]
24. Kulyniak, I. Ya., Karyi, O. I., Prokopyshyn-Rashkevych, L. M., Ohinok, S. V., & Bondarenko, Yu. H. (2023). Ievropeyskiy dosvid populiaryzatsii istorichnoi spadshchyny ta kulturnoho turyzmu: navchalnyi posibnyk [European experience in promoting historical heritage and cultural tourism: A textbook]. Lviv: Rastr-7. 254. [in Ukrainian]
- 

**Novakovskiy D., Skrypnik L., Novakovska I., Romakh P.**

**A MULTI-LEVEL MODEL FOR ASSESSING THE IMPACT OF CULTURAL HERITAGE OBJECTS ON THE COST OF URBAN LAND AND REAL ESTATE**

LAND MANAGEMENT, CADASTRE AND LAND MONITORING 2'26: 127-143.

<http://dx.doi.org/10.31548/zemleustriy2026.02.09>

**Abstract.** *The article proposes a multi-level theoretical and methodological model for assessing the impact of cultural heritage sites on the value of urban land and real estate. The relevance of the study is driven by the fact that, in Ukrainian practice, the historic environment is still predominantly perceived as a constraint on development, while its market, fiscal, and spatial effects remain insufficiently quantified.*

*The aim of the article is to conceptualize the mechanisms of heritage capitalization in real estate value and to develop an analytical toolkit that integrates classical spatial methods with new digital indicators of public attention. The research methodology is based on a combination of institutional analysis, hedonic pricing, spatial econometrics, and externality analysis, as well as the use of geographic information system data, market monitoring, digital user traces, reviews, and photometric indicators of platform visibility.*

*It is substantiated that the impact of heritage sites on property values manifests through several channels: aesthetic-symbolic, tourism-commercial, institutional-regulatory, infrastructural, reputational, and fiscal. The scientific novelty lies in the introduction of the concept of “net heritage capitalization,” defined as the difference between the heritage premium and the heritage discount.*

*It is shown that a positive price effect does not arise automatically from the mere presence of a monument, but rather depends on clearly defined usage regimes, a transparent conservation agreement, low regulatory uncertainty, and sufficient capacity of the owner to ensure proper maintenance of the asset.*

*The practical significance of the article lies in providing a framework for improving normative monetary valuation, tax policy, urban planning regulation, and investment decision-making within historic areas. It is concluded that cultural heritage protection should not be viewed as a consumption cost, but rather as a long-term investment in sustaining real estate values, municipal fiscal bases, and the economic development of historic territories.*

**Keywords:** *cultural heritage; historic areas; real estate value; urban land; spatial econometrics; hedonic pricing; digital traces; conservation restrictions*

---

## ОЦІНКА ЕКОЛОГО-АГРОХІМІЧНОГО СТАНУ ЗЕМЕЛЬ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО ПРИЗНАЧЕННЯ НА ОСНОВІ АВТОМАТИЗОВАНОГО ВІДБОРУ ҐРУНТОВИХ ЗРАЗКІВ

---

**О.М. ГРИЩЕНКО,**

*кандидат сільськогосподарських наук,*

*E-mail: grischenkoel@ukr.net,*

*ORCID: 0000-0002-1241-7183*

*Державна установа «Інститут охорони ґрунтів України»*

**Є.В. БУТЕНКО,**

*кандидат економічних наук, доцент,*

*Email: Butenko@nubip.edu.ua,*

*ORCID: 0000-0002-5923-5838,*

*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

**В.О. ГРИЩЕНКО,**

*студентка,*

*E-mail: grischenkovik@gmail.com,*

*ORCID: 0009-0003-8550-2033*

*Національний університет біоресурсів і природокористування України,*

*Державна установа «Інститут охорони ґрунтів України»*

**В.С. БОЖОК,**

*студентка,*

*E-mail: hiz23-v.bozhok@nubip.edu.ua,*

*ORCID: 0009-0002-1646-4937*

*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

**Д.В. ВИННИК,**

*студентка,*

*E-mail: hiz23-d.vynnyk@nubip.edu.ua,*

*ORCID: 0009-0008-1698-942X*

*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

**Анотація.** У статті здійснено оцінку еколого-агрохімічного стану земель сільськогосподарського призначення із застосуванням автоматизованого комплексу відбору проб ґрунту *Vodenprobenehmer N2006*. Обґрунтовано актуальність використання автоматизованих технологій ґрунтового моніторингу в умовах інтенсифікації аграрного виробництва, розвитку точного землеробства та необхідності оцінювання земель, що зазнали воєнного впливу.

Дослідження проведено на земельній ділянці площею 279,4 га, розташованій за межами с. Бригадирівка Ізюмської ТГ Ізюмського району Харківської області. Для оцінювання стану ґрунтового покриву було відібрано 60 об'єднаних проб з орного шару 0–30 см із поділом території на елементарні ділянки площею до 5 га.

Проведено лабораторне визначення основних агрохімічних і еколого-токсикологічних показників ґрунту, зокрема реакції ґрунтового розчину, вмісту гумусу, легкогідролізованого азоту, рухомих сполук фосфору, калію, мікроелементів і важких металів. Статистичну обробку результатів виконано з визначенням середньозважених значень, меж варіювання та коефіцієнтів варіації.

Встановлено, що ґрунти досліджуваної ділянки характеризуються близькою до нейтральної реакцією ґрунтового розчину та високим вмістом гумусу, що свідчить про збереження природного потенціалу родючості. Водночас виявлено дисбаланс окремих агрохімічних показників, зокрема низьку забезпеченість легкогідролізованим азотом, дуже низький вміст рухомих сполук цинку та низький вміст марганцю. За результатами еколого-токсикологічного оцінювання встановлено поширення підвищеного вмісту рухомих сполук кадмію на значній частині досліджуваної площі, а також слабкий і помірний рівні забруднення свинцем в окремих елементарних ділянках.

Отримані результати свідчать про просторову неоднорідність агрохімічних і токсикологічних показників, що може бути пов'язано як із природною мозаїчністю ґрунтового покриву, так і з локальним воєнно-техногенним впливом. Обґрунтовано доцільність використання автоматизованих систем відбору проб для формування електронних карт ґрунтових показників, моніторингу забруднення, планування рекультиваційних заходів і впровадження елементів точного землеробства.

**Ключові слова:** ґрунт, еколого-агрохімічна оцінка, автоматизований відбір проб, Bodenprobenehmer N2006, агрохімічні показники, важкі метали, воєнний вплив, точне землеробство.

### Актуальність

Сучасна оцінка ґрунтів в Україні здійснюється в умовах поєднання інтенсифікації сільськогосподарського виробництва, кліматичних змін, деградації ґрунтового покриву та масштабного воєнного впливу на земельні ресурси. Це зумовлює потребу в підвищенні точності, оперативності та просторової деталізації ґрунтового моніторингу [1–5].

Традиційні методи оцінювання ґрунтів, зокрема ручний відбір проб, бонітування та еколого-агрохімічна паспортизація, залишаються важ-

ливою методичною основою, однак не завжди забезпечують достатню швидкість і репрезентативність отримання даних для сучасного управління земельними ресурсами [6, 8, 11]. Особливо це стосується земель, що зазнали бойових дій, де забруднення і деградаційні процеси часто мають локальний та мозаїчний характер [4, 5].

Воєнний вплив на ґрунти проявляється через механічне руйнування профілю, утворення окопів, вирв і бліндажів, переуцільнення орного шару важкою технікою, пірогенний вплив пожеж, а також потенційне забруднення важкими металами,

залишками вибухових речовин, паливно-мастильними матеріалами та продуктами корозії техніки [4, 5]. У таких умовах стандартна щільність відбору проб може бути недостатньою для виявлення локальних осередків забруднення.

Водночас розвиток точного землеробства потребує формування електронних карт агрохімічних і токсикологічних показників ґрунту, які є основою для диференційованого внесення добрив, планування рекультивацийних заходів і раціонального використання земель [6–8]. Тому актуальним є впровадження автоматизованих комплексів відбору ґрунтових зразків, які забезпечують GPS-прив'язку точок відбору, зменшення впливу людського фактора, підвищення продуктивності польових робіт та інтеграцію результатів у ГІС-платформи [9–11].

Отже, актуальність дослідження зумовлена необхідністю удосконалення методичних і технологічних підходів до еколого-агрохімічного оцінювання земель сільськогосподарського призначення, особливо тих, що зазнали воєнного впливу. Застосування автоматизованого відбору проб є перспективним інструментом для оперативного моніторингу, виявлення просторової неоднорідності ґрунтових показників, оцінювання ризиків забруднення та забезпечення ефективного післявоєнного відновлення родючості ґрунтів.

### ***Аналіз останніх досліджень та публікацій***

Проблемам якісного оцінювання, бонітування та моніторингу земельних ресурсів присвячено праці багатьох вітчизняних та зарубіжних учених. Зокрема, у дослідженнях І.О.

Удовенко та С.О. Чорного розкрито теоретико-методологічні засади оцінки якості ґрунтів як основи для визначення цінності природних ресурсів, раціонального землекористування та планування заходів із підвищення родючості ґрунтового покриву [3, 12].

Окрему увагу в сучасній науковій літературі приділено цифровізації аграрного сектору та переходу до систем точного землеробства. У працях В.Р. Черлінки та В.С. Захаровського обґрунтовано напрями автоматизації розрахунків під час якісної оцінки ґрунтів [13]. Д.В. Федасюк та М.О. Костюк досліджують можливості застосування технологій машинного навчання для прогнозування фізичних властивостей ґрунтів у системах розумного землеробства [7].

Зарубіжні дослідження також підтверджують, що розвиток точного землеробства безпосередньо пов'язаний із використанням просторово деталізованих ґрунтових даних, GPS-навігації, ГІС-платформ, дистанційного зондування та цифрового картування. Зокрема, А. McBratney, В. Whelan, Т. Ancev і J. Vouma розглядають точне землеробство як систему управління, що ґрунтується на просторовій мінливості властивостей ґрунту та потребує інтеграції польових, лабораторних і картографічних даних [14].

Важливим напрямом сучасних досліджень є удосконалення стратегій відбору ґрунтових проб. В. S. Farmaha та співавтори зазначають, що відбір проб є основою для оцінювання рН, поживного режиму ґрунту та прийняття рішень щодо внесення вапна і добрив, а кількість і схема відбору мають враховувати просторову мінливість ґрунтового покриву [15]. Дослідження J. R. M. R. Gonçalves та співавторів показують, що різні методи

відбору проб у точному землеробстві – зокрема сітковий відбір, зональний підхід і відбір за електропровідністю ґрунту – можуть давати різні рекомендації щодо удобрення, що підтверджує важливість вибору репрезентативної схеми обстеження [16].

Перспективним напрямом є застосування автоматизованих і сенсорних технологій збору ґрунтової інформації. V.I. Adamchuk, J.W. Hummel, M.T. Morgan і S.K. Upadhyaya узагальнили можливості мобільних ґрунтових сенсорів для точного землеробства та підкреслили, що такі технології дають змогу підвищити щільність вимірювань і зменшити витрати на отримання просторових даних про ґрунтові властивості [17]. Водночас технічні характеристики автоматизованого пробовідбірника Bodenprobennehmer N2006 свідчать про його придатність для відбору проб із заданої глибини, зокрема в межах орного шару 0–30 см, що є важливим для агрохімічного моніторингу та формування електронних карт ґрунтових показників.

Окремий блок сучасних досліджень стосується впливу бойових дій на ґрунтовий покрив. P. Pereira, F. Bašić, I. Bogunovic і D. Barcelo зазначають, що військова діяльність може істотно змінювати фізичні, хімічні та біологічні властивості ґрунтів, а вибухи, мінування, риття окопів і траншей здатні руйнувати ґрунтові горизонти, перемішувати профіль та спричиняти деградацію земель [4]. Н. О. Діденко у дослідженні щодо пошкодження та відновлення ґрунтів України підкреслює, що війна спричиняє деградацію ґрунтів через забруднення, руйнування сільськогосподарських угідь і порушення природних екосистем [5].

Незважаючи на наявний науковий доробок, питання апаратно-технічно-

го забезпечення процесу збору ґрунтових даних – як первинного етапу автоматизованої оцінки земель – залишається висвітленим недостатньо. У фахових публікаціях обмежено розкрито методичні та практичні аспекти застосування автоматизованих систем відбору проб порівняно з традиційними методами, особливо на територіях, що зазнали воєнного впливу. Недостатньо дослідженими залишаються питання репрезентативності автоматизованого відбору, інтеграції результатів у ГІС-платформи, формування карт просторової неоднорідності агрохімічних показників і використання таких даних для післявоєнного відновлення родючості ґрунтів. Саме це зумовило вибір напряму дослідження.

**Мета дослідження** – оцінити еколого-агрохімічний стан земельної ділянки сільськогосподарського призначення, що зазнала воєнного впливу, на основі результатів автоматизованого відбору ґрунтових зразків комплексом Bodenprobennehmer N2006, лабораторного аналізу агрохімічних та еколого-токсикологічних показників, а також визначення просторової неоднорідності ґрунтового покриву. Для досягнення поставленої мети передбачено виконання таких завдань: охарактеризувати ґрунтовий покрив і умови використання досліджуваної земельної ділянки; провести автоматизований відбір ґрунтових проб із поділом території на елементарні ділянки; визначити основні агрохімічні показники ґрунту: рН, гумус, легкогідролізований азот, рухомі сполуки фосфору і калію; оцінити вміст рухомих форм мікроелементів і важких металів; визначити просторову неоднорідність показників за допомогою статистичної обробки; встановити потенційні ознаки

воєнного впливу на еколого-агрохімічний стан ґрунтів і обґрунтувати напрями подальшого моніторингу та відновлення.

### **Матеріали і методи дослідження**

Дослідження виконано відповідно до договору Державної установи «Інститут охорони ґрунтів України» з Міністерством освіти і науки України ДЗ / 168-2025 від 12.02.2025 «Вивчення агрохімічного стану та впливу бойових дій на землях сільськогосподарського призначення для забезпечення сталого агровиробництва».

Об'єктом дослідження слугувала земельна ділянка сільськогосподарського призначення площею 279,4175 га, розташованої за межами с. Бригадирівка Ізюмської ТГ Ізюмського району Харківської області. Для оцінювання еколого-агрохімічного стану ґрунтового покриву було відібрано 60 об'єднаних проб ґрунту за допомогою автоматизованого комплексу Bodenprobenehmer N2006.

У період із березня по вересень 2022 року зазначена ділянка перебувала під мілітарним впливом унаслідок бойових дій. У цей час вона не використовувалася у сільськогосподарському виробництві, її господарське використання було відновлено лише навесні 2024 року. За свідченнями землекористувача, після відходу військових підрозділів на території ділянки було виявлено систему окопів та бліндажів завдовжки до 3 м та глибиною близько 1,5 м, сліди пожеж, а також ознаки ущільнення ґрунту, спричиненого пересуванням важкої військової техніки.

Ґрунтовий покрив земельної ділянки представлений: чорноземами

звичайними слабозмитими важкосуглинковими і легкоглинистими (агровиробнича група 65e) – переважаюча ґрунтова відміна, чорноземами звичайними середньогумусними глибокими важкосуглинковими і легкоглинистими (агровиробнича група 58e, особливо цінні ґрунти Степової Лівобережної провінції) [18], чорноземами середньо- і сильносолонцюватими на щільних глинах слабозмитими важкосуглинковими (агровиробнича група 89e) та розмитими важкосуглинковими і легкоглинистими ґрунтами і відходами рихлих лесовидних порід (агровиробнича група 215e). Агровиробничі групи 65e та 89e належать до чорноземів, однак характеризуються різним ступенем деградації та змивання, що впливає на їхню природну родючість і сільськогосподарську продуктивність. Ґрунти агровиробничої групи 65e мають середню продуктивність, тоді як ґрунти груп 89e та 215e характеризуються нижчою продуктивністю і потребують застосування агротехнічних заходів, спрямованих на покращення водного режиму, структуроутворення та, за потреби, проведення глибокого обробітку.

Для механізованого відбору проб ґрунту використовували мобільний автоматизований комплекс Bodenprobenehmer N2006 виробництва Bodenprobetechnik Peters GmbH (Німеччина), встановлений на транспортному засобі високої прохідності типу пікап. Комплекс укомплектований автоматичним пробовідбірником, навігаційною системою, польовим комп'ютером і GPS/RTK-приймачем. Обладнання забезпечує автоматизований відбір проб ґрунту з орного шару на глибину 0–30 см із заданим кроком сітки та фіксацією місць відбору за GPS-координатами. Під час польових

робіт контур поля визначали за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення Field-Expert, після чого площу поля розподіляли на елементарні ділянки для репрезентативного відбору проб. Земельний масив було поділено на 60 елементарних ділянок площею до 5 га кожна, що забезпечувало вищу просторову роздільну здатність порівняно зі стандартною щільністю агрохімічної паспортизації. На кожній елементарній ділянці автоматизованим пробовідбірником виконували до 30 точкових відборів, з яких формували одну об'єднану пробу (рис. 1).

Основні технічні характеристики комплексу: продуктивність – до 100–120 га за зміну; глибина відбору – 0–30 см, регульована; діаметр шупа – 20 мм; точність GPS-навігації з використанням RTK-приймача –  $\pm 0,3\text{--}0,5$  м; автоматичне маркування зразків GPS-координатами; ємність контейнера – 100–200 проб за одне завантаження. Комплекс може інтегруватися з агропробними ГІС-платформами, що дає змогу автоматизовано формувати електронні карти агрохімічних показників ґрунту для подальшого використання у системах точного землеробства та диференційованого внесення добрив [10, 11].

Застосування автоматизованого комплексу Bodenprobenehmer N2006 має низку переваг порівняно з традиційним ручним відбором проб ґрунту. Зокрема, автоматизований відбір забезпечує вищу продуктивність польових робіт, точну GPS-прив'язку місць відбору, зменшення впливу людського фактора, стандартизацію глибини та кількості точкових відборів, а також можливість подальшої інтеграції результатів у ГІС-платформи. Це особливо важливо під час



**Рис. 1. Розміщення елементарних ділянок на досліджуваній ділянці (с. Бригадирівка Ізюмської ТГ Ізюмського району Харківської області)**

обстеження великих земельних масивів і територій, що зазнали воєнного впливу, де потрібна висока просторова деталізація та підвищена безпека виконання польових робіт. Порівняльну характеристику традиційного та автоматизованого способів відбору проб ґрунту наведено в табл. 1.

Відбір проб ґрунту здійснювали відповідно до вимог ДСТУ 4287:2004 «Якість ґрунту. Відбирання проб» [19]. Проби відбирали з орного шару на глибині 0–30 см, який є репрезентативним для оцінки техногенного забруднення, оскільки саме в цьому горизонті зосереджуються основні процеси акумуляції рухомих форм важких металів та відбувається їхній безпосередній контакт із кореневими системами рослин [9, 12, 20]. Лабо-

## 1. Порівняльна характеристика традиційного та автоматизованого відбору проб ґрунту

Критерій	Традиційний відбір	Автоматизований відбір
Спосіб виконання	ручний відбір за допомогою бура, щупа або лопати	механізований відбір автоматичним пробовідбірником
Продуктивність	нижча, залежить від кількості працівників і умов поля (ручна праця)	вища, до 100–120 га/зміну
Глибина відбору	може варіювати залежно від виконавця	стандартизована, регульована глибина 0–30 см
GPS-прив'язка	часто ручна або вибіркова	автоматизована фіксація координат точок відбору
Людський фактор	високий вплив виконавця на рівномірність і точність відбору	мінімізований вплив людського фактора
Репрезентативність	залежить від досвіду виконавця та дотримання методики	забезпечується заданою сіткою, кількістю уколів і GPS-навігацією
Безпека робіт	нижча на ділянках із воєнним впливом через тривале перебування персоналу в полі	вища завдяки механізації та скороченню часу польових робіт
Інтеграція з ГІС	потребує додаткового перенесення даних	можлива безпосередня інтеграція з цифровими картами та ГІС-платформами
Використання у точному землеробстві	обмежене без додаткової цифрової обробки	придатне для формування електронних карт і диференційованого внесення добрив

раторний аналіз зразків проводили в атестованій лабораторії Північно-східного міжрегіонального центру ДУ «Держґрунтохорона».

Агрохімічні показники ґрунту визначали за такими нормативними документами: реакція ґрунтового розчину, рН – ДСТУ 7862:2015 [21]; вміст гумусу (органічної речовини) – ДСТУ 4289:2004 [22]; вміст легкоїд-ролізованого азоту – ДСТУ 7863:2015 [23]; вміст рухомих сполук фосфору та калію – ДСТУ 4115:2002 [24]. Еколого-токсикологічні показники визначали в амонійно-ацетатному буферному розчині з рН 4,8 відповідно до серії стандартів ДСТУ 4770:2007. Зо-крема, визначали вміст рухомих сполук марганцю – за ДСТУ 4770.1:2007 [25], цинку – ДСТУ 4770.2:2007 [26], кадмію – ДСТУ 4770.3:2007 [27], заліза – ДСТУ 4770.4:2007 [28], кобальту – ДСТУ 4770.5:2007 [29], міді – ДСТУ 4770.6:2007 [30], нікелю –

ДСТУ 4770.7:2007 [31] та свинцю – ДСТУ 4770.9:2007 [32].

Групування ґрунтів за агрохімічними показниками здійснювали відповідно до Методики проведення агрохімічної паспортизації земель сільськогосподарського призначення [20]. Оцінку еколого-токсикологічного стану ґрунтів за вмістом рухомих сполук важких та визначення придатності земельних ділянок для вирощування сільськогосподарських культур здійснювали шляхом порівняння фактичних концентрацій з гранично допустимими концентраціями (ГДК) відповідно до чинних нормативів [33].

Межі забруднених ділянок, що зазнали можливого впливу бойових дій [35], визначали шляхом виділення елементарних ділянок, на яких зафіксовано підвищений вміст рухомих форм важких металів. Такий підхід дозволив встановити не лише загальний рівень забруднення, а й локалі-

зувати окремі осередки підвищених концентрацій, характерні для ґрунтів, ушкоджених унаслідок воєнного впливу.

Статистичну обробку експериментальних даних виконували із застосуванням програмних пакетів Microsoft Excel та Statistica 6.0. Розраховували основні показники описової статистики: середнє значення, мінімум, максимум, стандартну помилку, середньоквадратичне відхилення та коефіцієнт варіації. Для оцінювання однорідності вибірки та достовірності отриманих середніх значень визначали коефіцієнт варіації ( $V$ , %), який характеризує ступінь розсіювання окремих показників відносно середнього арифметичного. Варіацію вважали слабкою за  $V \leq 5$  %, помірною – 6–10 %, значною – 10–20 %, великою – 21–50 %, дуже великою – за  $V > 50$  %.

Просторову неоднорідність ґрунтових показників оцінювали за поєднанням середніх значень по елементарних ділянках, меж їх варіювання, коефіцієнтів варіації та структури розподілу проб за рівнями забезпеченості або забруднення. Це дало змогу виявити локальні осередки підвищених значень агрохімічних і токсикологічних показників та оцінити характер їх просторового поширення в межах досліджуваної земельної ділянки.

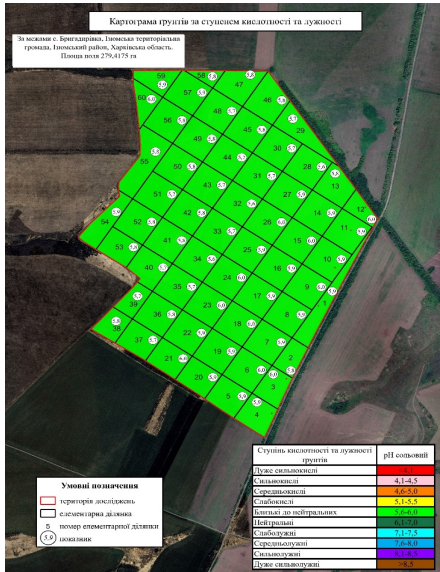
### **Результати та їх обговорення**

За результатами проведених досліджень встановлено, що ґрунт досліджуваної ділянки загалом має близьку до нейтральної реакцію ґрунтового розчину. Середньозважене значення становило 5,8 од. рН. У межах елементарних ділянок показник варіювала від 5,6 до 6,0 од. рН.

Усі 60 проб характеризувалися близькою до нейтральної реакцією ґрунтового розчину. Коефіцієнт варіації становив 2 %, що свідчить про слабку варіацію та високу однорідність показника (рис. 2). За отриманими результатами вплив бойових дій на кислотність ґрунту не простежується. Стабільність показника рН може свідчити про високу буферну здатність чорноземів, яка, ймовірно, обмежила прояв можливого хімічного впливу продуктів вибухів і горіння на реакцію ґрунтового розчину [5, 34].

Ґрунтовий покрив досліджуваної ділянки характеризується високим вмістом гумусу (рис. 3). Середньозважене значення становило 4,13 %, тоді як у межах елементарних ділянок вміст гумусу варіював від 3,15 до 4,81 %. Із 60 проб 39 характеризувалися високим вмістом гумусу 4,16–4,81 %, а 21 проба – підвищеним вмістом у межах 3,15–3,92 %. Коефіцієнт варіації становив 9,2 %, що свідчить про помірну варіацію показника. Виявлені відмінності можуть бути зумовлені природними ґрунтоутворними процесами, мозаїчністю ґрунтового покриву та локальними відмінностями у накопиченні органічної речовини. За результатами лабораторного аналізу прямого впливу бойових дій на загальний вміст гумусу не встановлено. Водночас на локально порушених ділянках, зокрема в місцях риття окопів і бліндажів, можливе фізичне перемішування генетичних горизонтів, руйнування структури ґрунтового профілю та локальне зниження родючості, що узгоджується з даними про механічну деградацію ґрунтів унаслідок бойових дій [4, 5, 10, 11].

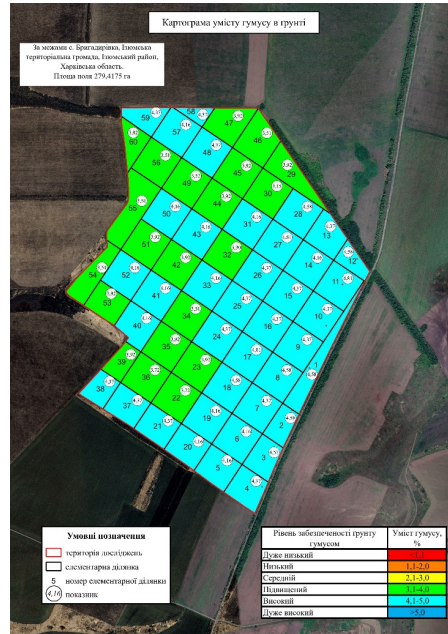
Забезпеченість ґрунту легкодіяним азотом оцінюється як низька (рис. 4) Середньозважене зна-



**Рис. 2. Картограма реакції ґрунтового розчину (рН) досліджуваної земельної ділянки**

чення становило 111,5 мг/кг ґрунту за варіювання від 91,0 до 137,2 мг/кг. Із 60 проб 56 мали низький вміст азоту в межах 102,2–137,2 мг/кг, 4 проби – дуже низький вміст у межах 91,0–98,0 мг/кг. Коефіцієнт варіації становив 7,8 %, що свідчить про помірну варіацію та відносну однорідність розподілу показника. Низький рівень азотного живлення частково пояснюється природними особливостями мінералізації органічної речовини. Водночас не виключається вплив бойових дій, оскільки вибухи та пожежі сприяти втратам азоту у газоподібній формі, зокрема у вигляді оксидів азоту.

За вмістом рухомих сполук фосфору ґрунт досліджуваної ділянки в цілому характеризується середньою забезпеченістю (рис 5). Середньозважене значення становило 86 мг/кг ґрунту, а варіювання показника –



**Рис. 3. Картограма просторового розподілу вмісту гумусу (органічної речовини) у ґрунтах досліджуваної земельної ділянки**

від 70 до 145 мг/кг. Зокрема, 56 із 60 проб мали середній рівень забезпеченості фосфором у межах 70–94 мг/кг, а 4 проби – підвищений рівень у межах 102–145 мг/кг. Коефіцієнт варіації становив 13,1 %, що свідчить про значну варіацію показника. Вплив бойових дій на вміст рухомих сполук фосфору може мати локальний та опосередкований характер, зокрема через надходження продуктів горіння рослинних решток або інших матеріалів у ґрунт.

Забезпеченість ґрунту рухомими сполуками калію є високою (рис. 6). Середньозважене значення становило 145 мг/кг ґрунту, а варіювання показника – від 113 до 192 мг/кг. Зокрема, 49 із 60 проб мали високий рівень забезпеченості калієм у межах



**Рис. 4. Картограма просторово-го розподілу вмісту легкогідролізованого азоту у ґрунтах досліджуваної земельної ділянки**



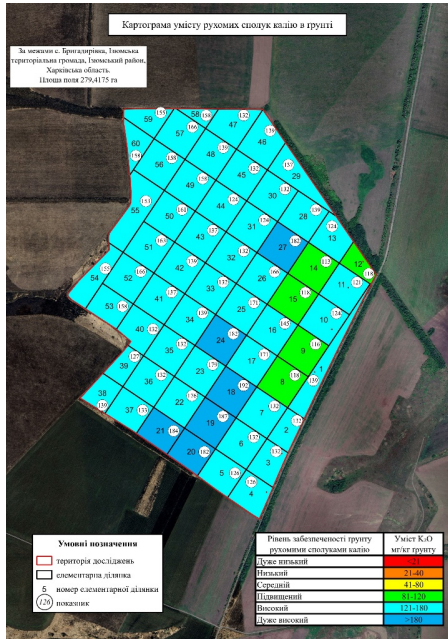
**Рис. 5. Картограма просторового розподілу вмісту рухомих сполук фосфору у ґрунтах досліджуваної земельної ділянки**

121–179 мг/кг, 6 проб – дуже високий рівень у межах 182–192 мг/кг, а 5 проб – підвищений рівень у межах 113–118 мг/кг. Коефіцієнт варіації становив 14,5 %, що свідчить про значну варіацію показника. Частково така неоднорідність може бути пов'язана з наслідками пожеж і вибухів, оскільки продукти згоряння та попіл можуть виступати додатковими джерелами калію у ґрунті.

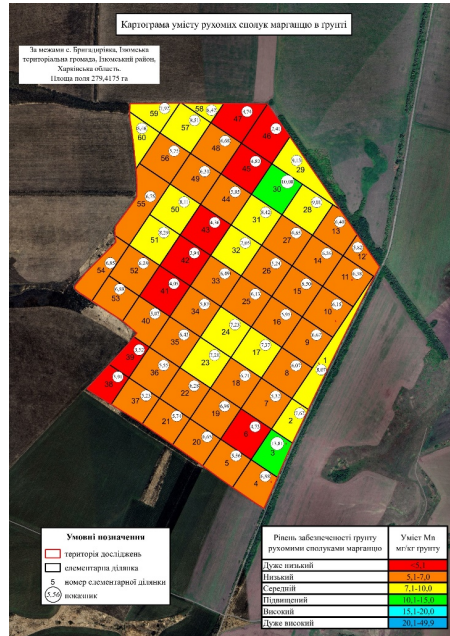
ґрунтовий покрив досліджуваної ділянки характеризується низьким вмістом рухомих сполук марганцю (рис.7). Середньозважене значення становило 6,48 мг/кг ґрунту, а в межах елементарних ділянок показник варіював від 2,41 до 13,81 мг/кг. Із 60 проб 34 мали низький вміст марганцю в межах 5,05–6,99 мг/кг, 15 проб – се-

редній вміст у межах 7,05–9,13 мг/кг, 9 проб – дуже низький вміст у межах 2,41–4,82 мг/кг, а дві проби – підвищений вміст у межах 10,08–13,81 мг/кг. Коефіцієнт варіації становив 27,1 %, що свідчить про велику варіацію та просторову неоднорідність розподілу марганцю. Виявлені відмінності можуть бути зумовлені як природною мозаїчністю ґрунтового покриву, так і локальним впливом бойових дій, що сприяли перерозподілу мікроелементів у верхньому шарі ґрунту.

Забезпеченість ґрунту рухомими сполуками цинку оцінюється як дуже низька (рис.8). Середньозважене значення становило 0,44 мг/кг за варіювання від 0,32 до 0,93 мг/кг ґрунту. Усі проби характеризувалися дефіцитом цинку, що негативно впливати на продуктивність сільськогосподар-



**Рис. 6. Картограма просторового розподілу вмісту рухомих сполук свинцю у ґрунтах досліджуваної земельної ділянки**



**Рис. 7. Картограма просторового розподілу вмісту рухомих сполук марганцю у ґрунтах досліджуваної земельної ділянки**

ських культур, знижувати стійкість рослин до стресових факторів і погіршувати якісні показники врожаю. Коефіцієнт варіації становив 19,7 %, що свідчить про значну варіацію показника. Вплив бойових дій на вміст рухомих сполук цинку чітко не простежується, оскільки його дефіцит може мати регіональний або ґрунтово-геохімічний характер.

За вмістом рухомих сполук міді ґрунт характеризується підвищеною забезпеченістю (рис.7). Середньозважене значення становило 0,21 мг/кг ґрунту, а варіювання показника – від 0,15 до 0,34 мг/кг. Зокрема, 29 із 60 проб мали середній вміст міді в межах 0,16–0,20 мг/кг, 27 проб – підвищений вміст в межах 0,21–0,30 мг/кг, 3 проби – низький вміст на рівні 0,15

мг/кг, а одна проба – високий вміст 0,34 мг/кг.

Коефіцієнт варіації становив 18,2 %, що свідчить про значну варіацію показника. Локальні коливання вмісту міді можуть бути пов'язані як із природною неоднорідністю ґрунтового покриву, так і з наслідками вибухів та пожеж, які здатні впливати на перерозподіл металів у верхньому шарі ґрунту.

Середньозважений вміст рухомих сполук заліза у межах досліджуваної ділянки становив 13,84 мг/кг ґрунту за варіювання від 2,05 до 30,9 мг/кг. Коефіцієнт варіації становив 48,7 %, що свідчить про велику варіацію та істотну просторову неоднорідність показника. Такі коливання можуть бути зумовлені природними відмін-



Рис. 8. Картограма просторового розподілу вмісту рухомих сполук цинку у ґрунтах досліджуваної земельної ділянки

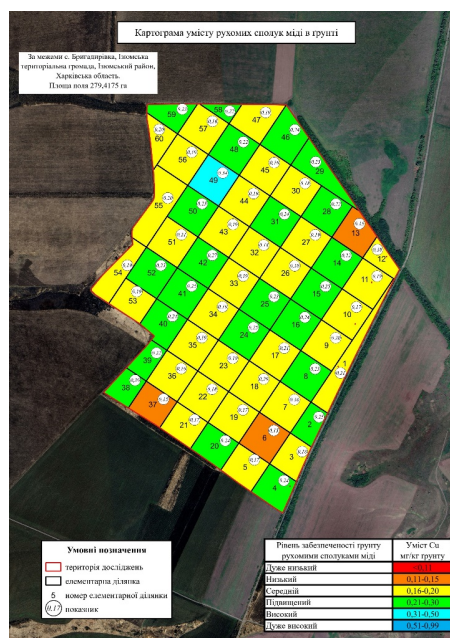


Рис. 9. Картограма просторового розподілу вмісту рухомих сполук міді у ґрунтах досліджуваної земельної ділянки

ностями у гранулометричному складі ґрунту, вмісті органічної речовини та окисно-відновних умовах. Водночас не виключається локальний вплив бойових дій, зокрема через надходження продуктів корозії військової техніки, металевих уламків та залишків вибухових речовин. У цілому розподіл заліза має мозаїчний характер.

За вмістом рухомих сполук кобальту ґрунт характеризується дуже високим рівнем забезпечення. Середньозважене значення становило 0,41 мг/кг ґрунту за варіювання від 0,23 до 0,71 мг/кг. Із 60 проб 48 мали дуже високий вміст кобальту в межах 0,31–0,49 мг/кг, 6 проб – високий вміст в межах 0,23–0,3 мг/кг, а ще у 6 пробах зафіксовано слабкий рівень забруднення в межах 0,54–0,71 мг/кг. Слід зазначити, що у 10 пробах вміст

кобальту перебував на межі слабого забруднення – 0,45–0,49 мг/кг. Коефіцієнт варіації становив 21,7 %, що свідчить про велику варіацію показника. Підвищення вмісту кобальту в окремих точках може бути пов'язане з локальним осіданням продуктів вибухів або металевих частинок.

За вмістом рухомих сполук нікелю ґрунт характеризується слабким рівнем забруднення. Середньозважене значення становило 2,56 мг/кг ґрунту за варіювання від 1,44 до 3,49 мг/кг. Зокрема, 50 із 60 проб мали слабкий рівень забруднення нікелем у межах 2,08–3,49 мг/кг, тоді як у 10 пробах його вміст відповідав фоновим значенням – 1,44–1,92 мг/кг. Перевищення гранично допустимої концентрації не зафіксовано. Коефіцієнт варіації становив 20,0%, що від-

повідает значній варіації та вказує на помірну просторову неоднорідність розподілу показника. Вплив бойових дій на вміст рухомих сполук нікелю у ґрунті оцінюється як незначний.

Середньозважений вміст рухомих сполук кадмію становив 0,16 мг/кг ґрунту, а варіювання показника перебувало в межах від 0,09 до 0,23 мг/кг. У розрізі окремих проб 42 із 60 характеризувалися слабким рівнем забруднення кадмієм у межах 0,1–0,19 мг/кг, 15 проб – помірним рівнем забруднення у межах 0,2–0,23 мг/кг, а 3 проби перебували на межі забруднення – 0,09 мг/кг. Загальна площа забруднення кадмієм становила 266,4609 га або 95,4 % площі досліджуваної ділянки. З них помірний рівень забруднення зафіксовано на площі 70,1712 га, або 25,15 %, а слабкий рівень – на площі 196,2897 га, або 70,25 %. На площі 12,9565 га, що становить 4,6 %, забруднення рухомими сполуками кадмію не виявлено. Коефіцієнт варіації становив 25,3 %, що свідчить про велику варіацію та наявність локальних осередків підвищених концентрацій кадмію. Таке варіювання може бути зумовлене впливом локальних антропогенних факторів, зокрема наслідками бойових дій – потраплянням у ґрунт металевих уламків, частинок техніки або продуктів вибухових речовин, які можуть бути джерелами важких металів.

За вмістом рухомих сполук свинцю ґрунт характеризується слабким рівнем забруднення. Середньозважене значення становило 1,18 мг/кг ґрунту, а варіювання показника – від 0,81 до 1,67 мг/кг. Із 60 проб 50 мали слабкий рівень забруднення свинцем у межах 0,81–1,44 мг/кг, а 10 проб – помірний рівень забруднення у межах 1,47–1,67 мг/кг. Коефіцієнт варіації становив

18,9 %, що свідчить про значну варіацію показника. Підвищення вмісту свинцю в окремих пробах може бути пов'язане з наслідками бойових дій, оскільки свинець є одним із характерних компонентів військово-техногенного забруднення ґрунтів.

Окрім змін хімічного складу, важливим чинником погіршення стану досліджуваної ділянки є фізична деградація ґрунтового покриву. Наявність окопів і бліндажів глибиною до 1,5 м свідчить про локальне порушення будови ґрунтового профілю та можливе переміщення малородючих нижніх горизонтів на поверхню. Пересування важкої військової техніки могло спричинити переуцільнення орного і підорного шарів, що негативно впливає на водний, повітряний та тепловий режими ґрунту. Додатковим обмежувальним чинником є техногенне засмічення території металевими й пластиковими уламками, яке ускладнює проведення польових робіт і потребує попереднього очищення ділянки.

### ***Висновки і перспективи подальших досліджень***

За результатами досліджень встановлено, що земельна ділянка площею 279,4175 га характеризується близькою до нейтральної реакцією ґрунтового розчину, високим вмістом гумусу та загалом збереженим потенціалом природної родючості. Водночас виявлено дисбаланс окремих агрохімічних показників: низьку забезпеченість легкогідролізованим азотом, середній рівень забезпеченості рухомими сполуками фосфору та високий рівень забезпеченості рухомими сполуками калію. Це свідчить про необхідність коригування сис-

теми удобрення з урахуванням просторової неоднорідності ґрунтового покриву. Еколого-токсикологічне оцінювання засвідчило поширення підвищеного вмісту рухомих сполук кадмію на 95,4 % площі досліджуваної ділянки, а також слабкий і помірний рівні забруднення свинцем в окремих елементарних ділянках. Просторова неоднорідність вмісту мікроелементів і важких металів може бути пов'язана як із природною мозаїчністю ґрунтового покриву, так і з локальним воєнно-техногенним впливом.

Застосування автоматизованого комплексу Bodenprobenehmer N2006 забезпечило репрезентативний відбір проб, GPS-прив'язку точок відбору та можливість формування просторово деталізованих карт агрохімічних і еколого-токсикологічних показників. Це підтверджує доцільність використання автоматизованих систем для моніторингу, рекультивациі та впровадження елементів точного землеробства на землях, що зазнали воєнного впливу.

Перспективи подальших досліджень пов'язані з повторним моніторингом ділянки, оцінюванням динаміки рухомих форм важких металів, аналізом їх переходу у рослинницьку продукцію та перевіркою ефективності рекультивацийних заходів.

---

#### Список використаної літератури

- Музиченко-Козловська О. В., Данилович Т. Б., Гавриляк А. С., Дзюрах Ю. М. Аналізування діяльності системи моніторингу стану ґрунтів в Україні. *Наукові записки Національного університету «Острозька академія». Серія: Економіка*. 2022. № 25(53). С. 4–10. DOI: [https://doi.org/10.25264/2311-5149-2022-25\(53\)-4-10](https://doi.org/10.25264/2311-5149-2022-25(53)-4-10).
- Нагірняк С. В., Донцова Т. А., Лапінський А. В., Терешков М. В. Soil and soil breathing remote monitoring: A short review. *Ecology and Noospherology*. 2020. URL: <https://ecology.dp.ua/index.php/ECO/article/view/1063> (дата звернення: 14.05.2026).
- Чорний С. О. Оцінка якості ґрунтів : навч. посіб. Миколаїв : МНАУ, 2018. 233 с.
- Pereira P., Bašić F., Bogunovic I., Barcelo D. Russian-Ukrainian war impacts the total environment. *Science of The Total Environment*. 2022. Vol. 837. Art. 155865. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.155865>.
- Didenko N. O. Soil damage and recovery in Ukraine: lessons from global post-war experiences. *Land Reclamation and Water Management*. 2024. № 2. P. 79–86. DOI: <https://doi.org/10.31073/mivg202402-391>.
- Петрук Ю., Артюк О. Інноваційні підходи до землеробства: автоматизація і роботизація машинно-тракторних агрегатів для оптимізації витрат та збереження ґрунтів. *Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті*. 2023. № 2. С. 112–118. URL: <https://forum.intu.edu.ua/index.php/jurnal-mbf/article/view/1741> (дата звернення: 14.05.2026).
- Федасюк Д. В., Костюк М. О. Прогнозування вологості ґрунту з використанням машинного навчання у системах розумного землеробства. *Український журнал інформаційних технологій*. 2024. Т. 6, № 1. С. 26–36. DOI: <https://doi.org/10.23939/ujit2024.01.026>.
- Kammerlander C., Kolb V., Luegmair M., Scheermann L., Schmailzl M., Seufert M., Zhang J., Dalic D., Schön T. Machine Learning Models for Soil Parameter Prediction Based on Satellite, Weather, Clay and Yield Data. arXiv. 2025. DOI: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2503.22276>.
- Методика проведення агрохімічного обстеження ґрунтів із застосуванням

- механізованих пробовідбірників. Київ : НТЦ «Агрохімсервіс», 2024. URL: <https://agrohim.gov.ua/methods/sampling> (дата звернення: 14.05.2026).
10. Ґрунтовідбірник Nietfeld N2006 – автоматизована система відбору зразків ґрунту. AgroGeo. URL: <https://www.agrogeo.com.ua/catalog/nietfeld-n2006-2> (дата звернення: 14.05.2026).
  11. Bodenprobenehmer N2006–Soil sampling system. Bodenprobetechnik Peters GmbH. URL: <https://www.bodenprobetechnik.de/en/bodenprobenehmer-n2006> (дата звернення: 14.05.2026).
  12. Удовенко І. О. Якісне оцінювання земельних ресурсів з метою визначення цінності природних ресурсів // Екологічно безпечне, високопродуктивне використання ґрунту та застосування добрив: зб. тез Всеукр. наук.-практ. конф. (м. Умань, 29 берез. 2017 р.). Умань, 2017. С. 109–110. URL: <http://lib.udau.edu.ua/handle/123456789/6323> (дата звернення: 14.05.2026).
  13. Cherlinka V. R., Zaharovskyy V. S. Directions of automatization for calculation of soil qualitative assessment. *AgroChemistry and Soil Science*. 2016. Vol. 85. P. 40–46. DOI: <https://doi.org/10.31073/acss85-06>.
  14. McBratney A., Whelan B., Ancev T., Bouma J. Future Directions of Precision Agriculture. *Precision Agriculture*. 2005. Vol. 6. P. 7–23. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11119-005-0681-8>.
  15. Farmaha B. S., Caughman W., Park D. Precision Agriculture-Based Soil Sampling Strategies. Clemson Cooperative Extension. URL: <https://lgpress.clemson.edu/publication/precision-agriculture-based-soil-sampling-strategies> (дата звернення: 14.05.2026).
  16. Gonçalves J. R. M. R., Ferraz G. A. e S., Reynaldo É. F., Marin D. B., Ferraz P. F. P., Pérez-Ruiz M., Rossi G., Vieri M., Sarrì D. Comparative analysis of soil-sampling methods used in precision agriculture. *Journal of Agricultural Engineering*. 2021. Vol. 52, No. 1. DOI: <https://doi.org/10.4081/jae.2021.1117>.
  17. Adamchuk V. I., Hummel J. W., Morgan M. T., Upadhyaya S. K. On-the-go soil sensors for precision agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2004. Vol. 44. P. 71–91. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2004.03.002>.
  18. Про затвердження переліку особливо цінних груп ґрунтів : наказ Державного комітету України по земельних ресурсах від 06.10.2003 № 245. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/z0979-03> (дата звернення: 14.05.2026).
  19. ДСТУ 4287:2004. Якість ґрунту. Відбирання проб. [Чинний від 2005-07-01]. Київ: Держспоживстандарт України, 2005. 6 с.
  20. Методика проведення агрохімічної паспортизації земель сільськогосподарського призначення / за ред. І. П. Яцук, С. А. Балюка. 2-ге вид., допов. Київ, 2019. 108 с.
  21. ДСТУ 7862:2015. Якість ґрунту. Визначення активної кислотності. [Чинний від 2016-07-01]. Київ : Держспоживстандарт України, 2015. 13 с.
  22. ДСТУ 4289:2004. Якість ґрунту. Методи визначення органічної речовини. [Чинний від 2005-07-01]. Київ : Держспоживстандарт України, 2005. 14 с.
  23. ДСТУ 7863:2015. Якість ґрунту. Визначення легкогідролізного азоту методом Корнфілда. [Чинний від 2016-07-01]. Київ: Держспоживстандарт України, 2015. 9 с.
  24. ДСТУ 4115-2002. Ґрунти. Визначення рухомих сполук фосфору і калію за модифікованим методом Чирікова. [Чинний від 2003-01-01]. Київ : Держспоживстандарт України, 2002. 10 с.
  25. ДСТУ 4770.1:2007. Якість ґрунту. Визначення вмісту рухомих сполук марганцю в ґрунті в буферній амонійно-ацетатній витяжці з рН 4,8 методом атомно-аб-

- сорбційної спектрофотометрії. [Чинний від 2009-01-01]. Київ : Держспоживстандарт України, 2009. 14 с.
26. ДСТУ 4770.2:2007. Якість ґрунту. Визначення вмісту рухомих сполук цинку в ґрунті в буферній амонійно-ацетатній витяжці з рН 4,8 методом атомно-абсорбційної спектрофотометрії. [Чинний від 2009-01-01]. Київ : Держспоживстандарт України, 2009. 14 с.
27. ДСТУ 4770.3:2007. Якість ґрунту. Визначення вмісту рухомих сполук кадмію в ґрунті в буферній амонійно-ацетатній витяжці з рН 4,8 методом атомно-абсорбційної спектрофотометрії. [Чинний від 2009-01-01]. Київ : Держспоживстандарт України, 2009. 14 с.
28. ДСТУ 4770.4:2007. Якість ґрунту. Визначення вмісту рухомих сполук заліза в ґрунті в буферній амонійно-ацетатній витяжці з рН 4,8 методом атомно-абсорбційної спектрофотометрії. [Чинний від 2009-01-01]. Київ : Держспоживстандарт України, 2009. 14 с.
29. ДСТУ 4770.5:2007. Якість ґрунту. Визначення вмісту рухомих сполук кобальту в ґрунті в буферній амонійно-ацетатній витяжці з рН 4,8 методом атомно-абсорбційної спектрофотометрії. [Чинний від 2009-01-01]. Київ : Держспоживстандарт України, 2009. 14 с.
30. ДСТУ 4770.6:2007. Якість ґрунту. Визначення вмісту рухомих сполук міді в ґрунті в буферній амонійно-ацетатній витяжці з рН 4,8 методом атомно-абсорбційної спектрофотометрії. [Чинний від 2009-01-01]. Київ : Держспоживстандарт України, 2008. 4 с.
31. ДСТУ 4770.7:2007. Якість ґрунту. Визначення вмісту рухомих сполук нікелю в ґрунті в буферній амонійно-ацетатній витяжці з рН 4,8 методом атомно-абсорбційної спектрофотометрії. [Чинний від 2009-01-01]. Київ : Держспоживстандарт України, 2009. 14 с.
32. ДСТУ 4770.9:2007. Якість ґрунту. Визначення вмісту рухомих сполук свинцю в ґрунті в буферній амонійно-ацетатній витяжці з рН 4,8 методом атомно-абсорбційної спектрофотометрії. [Чинний від 2009-01-01]. Київ : Держспоживстандарт України, 2009. 14 с.
33. Про затвердження нормативів гранично допустимих концентрацій небезпечних речовин у ґрунтах, а також переліку таких речовин : постанова Кабінету Міністрів України від 15.12.2021 № 1325. Офіційний вісник України. 2021. № 99. Ст. 6482. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/1325-2021-%D0%BF> (дата звернення: 14.05.2026).
34. Ozhovan O. O., Mikhaylyuk V. I. Soil acid-base buffering in the step agriculture lands. *Ukrainian Journal of Ecology*. 2019. Vol. 9, No. 3. P. 259–266. URL: <https://www.ujecology.com/articles/soil-acid-base-buffering-in-the-step-agriculture-lands.pdf> (дата звернення: 14.05.2026).
35. Ibatullin S., Dorosh I., Dorosh O., Sakal O., Butenko Y., Kharytonenko R., Shtohryn H. Determination of economic losses on agricultural lands in connection with hostilities on the example of the territory of Kyivska oblast in Ukraine. *Acta Scientiarum Polonorum. Formatio Circumiectus*. 2022. Vol. 21, No. 2. P. 49–61. DOI: <https://doi.org/10.15576/ASP.FC/2022.21.2.49>

---

## References

1. Muzychenko-Kozlovska O. V., Danylovyh T. B., Havryliak A. S., Dziurakh Yu. M. Analizuvannya diialnosti systemy monitorynhu stanu gruntiv v Ukraini [Analysis of the functioning of the soil condition monitoring system in Ukraine]. *Naukovi zapysky Natsionalnoho universytetu "Ostrozka akademiia". Seriia: Ekonomika* [Scientific Notes of the National University "Ostroh Academy". Series: Economics]. 2022. No. 25(53). P. 4–10. DOI: [https://doi.org/10.25264/2311-5149-2022-25\(53\)-4-10](https://doi.org/10.25264/2311-5149-2022-25(53)-4-10).

2. Nahirniak S. V., Dontsova T. A., Lapinskyi A. V., Tereshkov M. V. Soil and soil breathing remote monitoring: A short review. *Ecology and Noospherology*. 2020. Available at: <https://ecology.dp.ua/index.php/ECO/article/view/1063>.
3. Chornyi S. O. Otsinka yakosti gruntiv [Assessment of soil quality] : navch. posib. [study guide]. Mykolaiv : MNAU, 2018. 233 p.
4. Pereira P., Bašić F., Bogunovic I., Barcelo D. Russian-Ukrainian war impacts the total environment. *Science of The Total Environment*. 2022. Vol. 837. Art. 155865. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.155865>.
5. Didenko N. O. Soil damage and recovery in Ukraine: lessons from global post-war experiences. *Land Reclamation and Water Management*. 2024. No. 2. P. 79–86. DOI: <https://doi.org/10.31073/mivg202402-391>.
6. Petruk Yu., Artiukh O. Innovatsiini pidkhody do zemlerobstva: avtomatyzatsiia i robotyzatsiia mashynno-traktornykh ahreativ dlia optymizatsii vytrat ta zberezhennia gruntiv [Innovative approaches to agriculture: automation and robotization of machine-tractor units for cost optimization and soil conservation]. *Suchasni tekhnologii v mashynobuduvanni ta transporti [Modern Technologies in Mechanical Engineering and Transport]*. 2023. No. 2. P. 112–118. Available at: <https://eforum.lntu.edu.ua/index.php/jurnal-mbf/article/view/1741>.
7. Fedasiuk D. V., Kostyuk M. O. Prohnozuvannia volohosti gruntu z vykorystanniam mashynnoho navchannia u systemakh rozumnoho zemlerobstva [Prediction of soil moisture using machine learning in smart farming systems]. *Ukrainskyi zhurnal informatsiinykh tekhnologii [Ukrainian Journal of Information Technology]*. 2024. Vol. 6, No. 1. P. 26–36. DOI: <https://doi.org/10.23939/ujit2024.01.026>.
8. Kammerlander C., Kolb V., Luegmair M., Scheermann L., Schmailzl M., Seufert M., Zhang J., Dalic D., Schön T. Machine Learning Models for Soil Parameter Prediction Based on Satellite, Weather, Clay and Yield Data. arXiv. 2025. DOI: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2503.22276>.
9. Metodyka provedennia ahrokhimichnoho obstezhennia gruntiv iz zastosuvanniam mekhanizovanykh probovidbirnykiv [Methodology for agrochemical soil survey using mechanized samplers]. Kyiv : NTTs “Ahrokhimservis”, 2024. Available at: <https://agrohim.gov.ua/methods/sampling>.
10. Gruntovidbirnyk Nietfeld N2006 – avtomatyzovana systema vidboru zrazkiv gruntu [Nietfeld N2006 soil sampler – automated soil sampling system]. AgroGeo. Available at: <https://www.agrogeo.com.ua/catalog/nietfeld-n2006-2>.
11. Bodenprobenehmer N2006 – Soil sampling system. Bodenprobetechnik Peters GmbH. Available at: <https://www.bodenprobetechnik.de/en/bodenprobenehmer-n2006>.
12. Udovenko I. O. Yakisne otsiniuvannia zemelnykh resursiv z metoiu vyznachennia tsinnosti pryrodnykh resursiv [Qualitative assessment of land resources for determining the value of natural resources] // *Ekolohichno bezpechne, vysokoproduktyvne vykorystannia gruntu ta zastosuvannia dobryv : zb. tez Vseukr. nauk.-prakt. konf. (m. Uman, 29 berez. 2017 r.) [Environmentally safe, highly productive soil use and fertilizer application: Conference proceedings]*. Uman, 2017. P. 109–110. Available at: <http://lib.udau.edu.ua/handle/123456789/6323>.
13. Cherlinka V. R., Zaharovskyy V. S. Directions of automatization for calculation of soil qualitative assessment. *AgroChemistry and Soil Science*. 2016. Vol. 85. P. 40–46. DOI: <https://doi.org/10.31073/acss85-06>.
14. McBratney A., Whelan B., Ancev T., Bouma J. Future Directions of Precision Agri-

- culture. Precision Agriculture. 2005. Vol. 6. P. 7–23. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11119-005-0681-8>.
15. Farmaha B. S., Caughman W., Park D. Precision Agriculture-Based Soil Sampling Strategies. Clemson Cooperative Extension. Available at: <https://lgpress.clemson.edu/publication/precision-agriculture-based-soil-sampling-strategies>.
  16. Gonçalves J. R. M. R., Ferraz G. A. e S., Reynaldo É. F., Marin D. B., Ferraz P. F. P., Pérez-Ruiz M., Rossi G., Vieri M., Sarri D. Comparative analysis of soil-sampling methods used in precision agriculture. Journal of Agricultural Engineering. 2021. Vol. 52, No. 1. DOI: <https://doi.org/10.4081/jae.2021.1117>.
  17. Adamchuk V. I., Hummel J. W., Morgan M. T., Upadhyaya S. K. On-the-go soil sensors for precision agriculture. Computers and Electronics in Agriculture. 2004. Vol. 44. P. 71–91. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2004.03.002>.
  18. Pro zatverdzhennia pereliku osoblyvo tsinykh hrup gruntiv [On approval of the list of especially valuable soil groups] : nakaz Derzhavnoho komitetu Ukrainy po zemelnykh resursakh vid 06.10.2003 No. 245. Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/go/z0979-03>.
  19. DSTU 4287:2004. Yakist gruntu. Vidbyrannia prob [Soil quality. Sampling]. Kyiv : Derzhspozhyvstandart Ukrainy, 2005. 6 p.
  20. Metodyka provedennia ahrokhimichnoi pasportyzatsii zemel silskohospodarskoho pryznachennia [Methodology of agrochemical certification of agricultural lands] / za red. I. P. Yatsuka, S. A. Baliuka. 2nd ed. Kyiv, 2019. 108 p.
  21. DSTU 7862:2015. Yakist gruntu. Vyznachennia aktyvnoi kyslotnosti [Soil quality. Determination of active acidity]. Kyiv : Derzhspozhyvstandart Ukrainy, 2015. 13 p.
  22. DSTU 4289:2004. Yakist gruntu. Metody vyznachennia orhanichnoi rehovyny [Soil quality. Methods for determination of organic matter]. Kyiv : Derzhspozhyvstandart Ukrainy, 2005. 14 p.
  23. DSTU 7863:2015. Yakist gruntu. Vyznachennia lehkohidroliznoho azotu metodom Kornfilda [Soil quality. Determination of easily hydrolyzed nitrogen by Cornfield method]. Kyiv, 2015. 9 p.
  24. DSTU 4115-2002. Grunty. Vyznachennia rukhomykh spoluk fosforu i kaliiu za modyfikovanyim metodom Chyrykova [Soils. Determination of mobile phosphorus and potassium compounds by modified Chirikov method]. Kyiv, 2002. 10 p.
  25. DSTU 4770.1:2007. Yakist gruntu. Vyznachennia vmistu rukhomykh spoluk marshantsiu... Kyiv, 2009. 14 p.
  26. DSTU 4770.2:2007. Yakist gruntu. Vyznachennia vmistu rukhomykh spoluk tsynku... Kyiv, 2009. 14 p.
  27. DSTU 4770.3:2007. Yakist gruntu. Vyznachennia vmistu rukhomykh spoluk kadmiu... Kyiv, 2009. 14 p.
  28. DSTU 4770.4:2007. Yakist gruntu. Vyznachennia vmistu rukhomykh spoluk zali-za... Kyiv, 2009. 14 p.
  29. DSTU 4770.5:2007. Yakist gruntu. Vyznachennia vmistu rukhomykh spoluk kobaltu... Kyiv, 2009. 14 p.
  30. DSTU 4770.6:2007. Yakist gruntu. Vyznachennia vmistu rukhomykh spoluk midi... Kyiv, 2008. 4 p.
  31. DSTU 4770.7:2007. Yakist gruntu. Vyznachennia vmistu rukhomykh spoluk nikeliiu... Kyiv, 2009. 14 p.
  32. DSTU 4770.9:2007. Yakist gruntu. Vyznachennia vmistu rukhomykh spoluk svyntsiu... Kyiv, 2009. 14 p.
  33. Pro zatverdzhennia normatyviv hranychno dopustymykh kontsentratsii nebezpechnykh rehovyn u gruntakh, a takozh pereliku takykh rehovyn [On approval of maximum permissible concentrations of hazardous substances in soils and their list] : postanova Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 15.12.2021 No. 1325. Ofitsiinyi visnyk Ukrainy [Official Bulletin of Ukraine]. 2021.

- No. 99. Art. 6482. Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/go/1325-2021-%D0%BF>.
34. Ozhovan O. O., Mikhaylyuk V. I. Soil acid-base buffering in the step agriculture lands. *Ukrainian Journal of Ecology*. 2019. Vol. 9, No. 3. P. 259–266. Available at: <https://www.ujecology.com/articles/soil-acidbase-buffering-in-the-step-agriculture-lands.pdf>.
35. Ibatullin S., Dorosh I., Dorosh O., Sakal O., Butenko Y., Kharytonenko R., Shtohryn H. Determination of economic losses on agricultural lands in connection with hostilities on the example of the territory of Kyivska oblast in Ukraine. *Acta Scientiarum Polonorum. Formatio Circumiectus*. 2022. Vol. 21, No. 2. P. 49–61. DOI: <https://doi.org/10.15576/ASP.FC/2022.21.2.49>.
- 

**Hryshchenko O., Butenko Ye., Hryshchenko V., Bozhok V., Vynnyk D.**  
**ASSESSMENT OF THE ECOLOGICAL AND AGROCHEMICAL CONDITION OF AGRICULTURAL LANDS BASED ON AUTOMATED SOIL SAMPLING**  
*LAND MANAGEMENT, CADASTRE AND LAND MONITORING 2'26: 144-162.*  
<http://dx.doi.org/10.31548/zemleustriy2026.02.10>

**Abstract.** *The article assesses the ecological and agrochemical condition of agricultural lands using the automated soil sampling system Bodenprobenehmer N2006. The relevance of applying automated soil monitoring technologies under conditions of intensified agricultural production, the development of precision farming, and the necessity to evaluate lands affected by military impacts is substantiated.*

*The study was conducted on a land plot covering 279.4 hectares located outside the village of Bryhadyrivka, Izium Territorial Community, Izium District, Kharkiv Region, Ukraine. To assess the condition of the soil cover, 60 composite samples were collected from the 0–30 cm arable layer, with the territory divided into elementary plots of up to 5 hectares each.*

*Laboratory analyses included the determination of the main agrochemical and ecological-toxicological soil indicators, particularly soil solution reaction (pH), humus content, easily hydrolyzable nitrogen, mobile phosphorus and potassium compounds, micronutrients, and heavy metals. Statistical processing of the results involved calculating weighted average values, variation ranges, and coefficients of variation.*

*The soils of the studied area were found to be characterized by a near-neutral soil reaction and high humus content, indicating the preservation of their natural fertility potential. At the same time, an imbalance in certain agrochemical indicators was identified, including low availability of easily hydrolyzable nitrogen, very low content of mobile zinc compounds, and low manganese content. The ecological-toxicological assessment revealed an increased concentration of mobile cadmium compounds across a significant part of the study area, as well as slight and moderate levels of lead contamination within certain elementary plots.*

*The obtained results indicate the spatial heterogeneity of agrochemical and toxicological indicators, which may be associated both with the natural mosaic structure of the soil cover and with localized military-technogenic impacts. The expediency of using automated soil sampling systems for developing electronic maps of soil indicators, monitoring contamination, planning reclamation measures, and implementing precision farming elements is substantiated.*

**Keywords:** *soil, ecological and agrochemical assessment, automated soil sampling, Bodenprobenehmer N2006, agrochemical indicators, heavy metals, military impact, precision farming.*

## ЕКОЛОГО-ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА ОХОЛОДЖУВАЛЬНИХ ЕКОСИСТЕМНИХ ПОСЛУГ ЗЕЛЕНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ З УРАХУВАННЯМ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СТІЙКОСТІ В УМОВАХ УПРАВЛІННЯ МІСЬКИМИ ЗЕМЛЯМИ

---

**В.В. СТРАШОК,**

*старший науковий співробітник*

*E-mail: vitaly\_sv@ukr.net*

*ORCID: 0009-0003-9789-3596*

*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

**Л.А. РАЙЧУК,**

*завідувач відділу*

*E-mail: edelvice@ukr.net*

*ORCID: 0000-0002-2552-4578*

*Інститут агроекології і природокористування НААН*

**Анотація.** Урбанізація і кліматичні зміни знижують ефективність охолоджувальних регулюючих екосистемних послуг міської зеленої інфраструктури, проте їх еколого-економічна оцінка з урахуванням функціональної стійкості – особливо для приміських урбоекосистем в умовах збройного конфлікту – залишається недостатньо розробленою. Метою дослідження є еколого-економічна оцінка міської зеленої інфраструктури як кліматорегулюючого природного капіталу та розроблення підходу до оцінки охолоджувальних регулюючих екосистемних послуг з урахуванням функціональної стійкості на прикладі м. Ірпінь у 2015–2024 рр. Аналіз ґрунтувався на літніх медіанних композитах Landsat 8/9, кліматичних даних ERA5-Land і піксельному регресійному аналізі в Google Earth Engine із застосуванням NDVI, LST, NDBI, індексу ефективності охолодження (CEI) та аналізу динаміки теплових «гарячих точок». Встановлено стабільний охолоджувальний ефект рослинності впродовж досліджуваного періоду (коефіцієнти регресії NDVI–LST від –13,27 до –18,96) за вираженого теплового впливу забудови (NDBI–LST від +44,08 до +64,24). Незважаючи на відносно стабільні значення NDVI (0,260–0,300), після 2020 р. площі теплових «гарячих точок» різко зросли, досягнувши 25,63 % території у 2024 р., а CEI зафіксував максимальне зниження ефективності охолодження. Науковою новизною є авторський Індекс функціональної стійкості (FRI), що інтегрує охолоджувальну продуктивність рослинності, рівень озеленення, ефективність охолодження та просторову теплову вразливість. Критичне

зниження FRI від 1,72 у 2015 р. до 0,11 у 2024 р. емпірично доводить, що кількісні показники рослинності не є достатнім індикатором функціональної стійкості РЕП. Запропонований підхід з поправкою на резильєнтність забезпечує більш диференційовану еколого-економічну оцінку природного капіталу міської зеленої інфраструктури порівняно з класичним методом уникнутих витрат і може слугувати інструментальною основою для управлінських рішень у сфері кліматичної адаптації та міського землекористування.

**Ключові слова:** міський тепловий острів, метод уникнутих витрат, регулюючі екосистемні послуги, охолоджувальна ефективність.

---

### **Актуальність**

Глобальні зміни клімату та урбанізаційне навантаження посилюють прояви міського теплового острова, зокрема зростання температури поверхні, збільшення енергоспоживання та погіршення умов проживання [13, 14, 15, 20]; найгостріше — у містах із високою щільністю забудови, значною часткою водонепроникних поверхонь і фрагментованою структурою зелених насаджень [6, 31]. Особливої гостроти проблема набуває для приміських урботериторій, що зазнають урбанізаційного тиску, кліматичних змін і — у випадку України — збройного конфлікту, який трансформує структуру міського середовища та його теплові характеристики [5, 10]. Еколого-економічна ефективність і функціональна стійкість регулюючих екосистемних послуг міської зеленої інфраструктури в таких умовах залишаються недостатньо оціненими, що обмежує науково обґрунтоване управління міськими землями в контексті кліматичної адаптації [25],

### **Аналіз останніх досліджень та публікацій**

Просторовий розподіл зелених насаджень є одним із ключових чин-

ників формування міського теплового острова [24, 26, 29], однак навіть за відносно стабільних показників рослинного покриву ефективність охолодження є варіабельною та залежить від просторової структури забудови, кліматичного навантаження і рівня теплової вразливості [2, 27, 30]. Просторову нерівномірність теплового навантаження та її зв'язок із землекористуванням підтверджено методами дистанційного зондування для різних типів урбоекосистем [12, 17]. Еколого-економічна оцінка охолоджувальних регулюючих екосистемних послуг традиційно базується на методі уникнутих витрат [3, 7, 21], однак цей підхід не враховує функціональну надійність регулюючих екосистемних послуг в умовах зростаючого теплового та урбанізаційного навантаження. Концептуальні засади оцінки стійкості екосистем [4, 16] та кількісні методи просторового аналізу міського теплового острова [1, 11, 23] формують теоретичну основу інтегративних підходів, що поєднують функціональну та економічну складові оцінки міської зеленої інфраструктури. Разом з тим, комплексні методи оцінки функціональної стійкості охолоджувальних регулюючих екосистемних послуг з еколого-економічною інтерпретацією залишаються нерозробленими, що визначає

наукову прогалину цього дослідження.

**Метою дослідження** є еколого-економічна оцінка міської зеленої інфраструктури як кліматорегулюючого природного капіталу та розроблення підходу до оцінки охолоджувальних регулюючих екосистемних послуг з урахуванням їхньої функціональної стійкості в умовах управління міськими землями на прикладі м. Ірпінь у 2015–2024 роках. Для досягнення мети вирішувалися такі завдання:

1) проаналізувати просторово-часову динаміку NDVI, LST і NDBI за даними Landsat;

2) оцінити охолоджувальний ефект рослинності та тепловий вплив забудови піксельним регресійним аналізом;

3) визначити динаміку теплових «гарячих точок» як показника просторової теплової вразливості урботериторії;

4) розробити та апробувати Індекс функціональної стійкості (FRI) охолоджувальних регулюючих екосистемних послуг ;

5) здійснити еколого-економічну оцінку охолоджувальних регулюючих екосистемних послуг методом resilience-adjusted valuation як основу для управлінських рішень у сфері міського землекористування.

### **Матеріали і методи дослідження**

#### *Територія дослідження*

Об'єктом дослідження є м. Ірпінь, розташоване у північно-західній частині Київської агломерації. Адміністративні межі міста використовували у вигляді векторного shapefile, імпортованого до середовища Google Earth Engine. Місто належить до при-

міських урбанізованих територій і характеризується інтенсивною житловою забудовою, трансформацією структури землекористування та значною динамікою змін міського середовища, що особливо посилилася після 2022 року. Поєднання житлової забудови різної щільності, транспортної інфраструктури, фрагментованих зелених насаджень і природних лісових масивів формує складну просторову структуру урбосередовища та визначає характер процесів накопичення тепла й функціонування регулюючих екосистемних послуг. Динамічна трансформація структури землекористування м. Ірпінь – від переважно рекреаційних і сільськогосподарських угідь до інтенсивної житлової забудови – формує специфічні виклики для управління міськими землями в контексті збереження кліматорегулюючих функцій зеленої інфраструктури.

#### *Супутникові та метеорологічні дані*

Для аналізу показників рослинності та температури поверхні використовували супутникові дані Landsat Collection 2 Level-2 (Landsat 8 OLI/TIRS та Landsat 9 OLI/TIRS), отримані через платформу Google Earth Engine [8]. Метеорологічні умови оцінювали за даними ERA5-Land Monthly Aggregated Data (Copernicus Climate Data Store), що містять середньомісячні значення температури повітря. Аналіз проводили для літнього сезону (червень–серпень), який відповідає максимальному прояву теплового стресу в урбосередовищі [20].

Сформовано літні медіанні композиції за 2015, 2018 та 2020–2024 роки. Вибір зазначених років зумовлений двома чинниками: необхідністю

оцінки міжрічної динаміки теплового навантаження в різних кліматичних умовах та наявністю достатньої кількості знімків Landsat із низьким рівнем хмарності для формування репрезентативних композитів. Хмарність і тіні маскували на основі QA\_PIXEL band Landsat Collection 2 Level-2; до аналізу включали лише знімки з мінімальним атмосферним впливом.

*Розрахунок спектральних індексів*

Для кожного річного літнього композиту обчислювали три спектральні показники: індекс рослинності NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), індекс забудови NDBI (Normalized Difference Built-up Index) та температуру поверхні LST (Land Surface Temperature).

NDVI використовували для оцінки стану і щільності рослинного покриву за формулою [19, 22]:

$$\text{NDVI} = (\text{NIR} - \text{Red}) / (\text{NIR} + \text{Red}), \quad (1)$$

де NIR – ближній інфрачервоний канал; Red – червоний канал.

Інтенсивність забудови оцінювали за індексом NDBI [29]:

$$\text{NDBI} = (\text{SWIR} - \text{NIR}) / (\text{SWIR} + \text{NIR}), \quad (2)$$

де SWIR – короткохвильовий інфрачервоний канал; NIR – ближній інфрачервоний канал.

LST розраховували на основі теплового інфрачервоного каналу ST\_B10 відповідно формули [28]:

$$\text{LST} = \text{ST\_B10} \times 0,00341802 + 149,0 - 273,15, \quad (3)$$

де LST – температура поверхні землі, °C; ST\_B10 – тепловий інфрачервоний канал Landsat.

Отримані значення індексів використовували для аналізу взаємозв'язків між рослинністю, інтенсивністю забудови та тепловим навантаженням у межах досліджуваної території.

*Аналіз взаємозв'язків між індексами*

Охолоджувальний ефект рослинності оцінювали методом піксельного регресійного аналізу між NDVI та LST за моделлю [24]:

$$\text{LST} = a + b\text{NDVI} \times \text{NDVI}, \quad (4)$$

де a – вільний член; bNDVI – коефіцієнт охолоджувального впливу рослинності. Негативні значення bNDVI інтерпретували як зниження температури поверхні зі збільшенням рівня озеленення.

Аналогічно оцінювали вплив урбанізованих поверхонь на накопичення тепла через регресію NDBI–LST – підхід, широко застосовуваний у дослідженнях міського теплового острова [26, 28]:

$$\text{LST} = a + b\text{NDBI} \times \text{NDBI}, \quad (5)$$

де bNDBI – коефіцієнт теплового впливу забудови. Позитивні значення bNDBI відображають зростання теплового навантаження зі збільшенням площ водонепроникних і урбанізованих поверхонь.

*Аналіз теплових «гарячих точок» (hotspot-зон)*

На території дослідного об'єкта було виділено ділянки з температурою поверхні понад 38 °C у літній період («гарячі точки») для оцінки просторової теплової вразливості. Площу hotspot-зон визначали як частку території дослідження та використовували як показник теплового навантаження.

*Індекс ефективності охолодження*

Взаємозв'язок між температурою поверхні та станом рослинності широко використовується у дослідженнях пом'якшення міського теплового навантаження та охолоджувальних екосистемних послуг [24, 30]. Функціональну ефективність охолоджувальних регулюючих екосистемних послуг

оцінювали за індексом ефективності охолодження (Cooling Efficiency Index, CEI), який запропоновано на базі вищезгаданої концепції:

$$CEI = LST / NDVI \quad (6)$$

Підвищення значень CEI інтерпретували як зниження ефективності охолодження в умовах зростаючого теплового навантаження на урбоекосистему.

*Еколого-економічна оцінка охолоджувальних регулюючих екосистемних послуг*

Еколого-економічну оцінку проводили на основі методу уникнутих витрат (avoided-cost approach), відповідно до якого охолоджувальний вплив рослинності дозволяє скоротити потенційні витрати, пов'язані з тепловим стресом та кондиціонуванням урбосередовища. Номінальну економічну оцінку охолоджувальних регулюючих екосистемних послуг визначали за формулою:

$$E = \Delta T \times \beta \times C_e, \quad (7)$$

де  $E$  – умовна економічна оцінка охолодження;  $\Delta T$  – температурне пом'якшення, °C;  $\beta$  – коефіцієнт чутливості енергоспоживання до температури;  $C_e$  – тариф на електроенергію.

У розрахунках використовували стандартизований тариф  $C_e \approx 0,07$  EUR/kWh, що відповідає середньому тарифу для населення України у 2023–2024 роках. Коефіцієнт  $\beta$  визначали відповідно до Santamouris (2015), згідно з яким зростання температури на 1 °C може збільшувати витрати на охолодження на 0,5–8,5 % залежно від кліматичних та урбаністичних умов.

*Розробка Індексу функціональної стійкості (FRI) та оцінка функціональної стійкості екосистемних послуг*

Для комплексної оцінки функціональної стійкості охолоджувальних

регулюючих екосистемних послуг запропоновано Functional Resilience Index (FRI), що інтегрує охолоджувальну продуктивність рослинності, рівень її просторового забезпечення, ефективність охолодження та просторову теплову вразливість. Методологічна схема формування FRI із зазначенням математичних виразів та еколого-економічної інтерпретації кожного компонента наведена у табл. 1.

*Індекс FRI ми розраховували за формулою:*

$$FRI = (|b\_NDVI| \times NDVI) / (CEI \times H), \quad (8)$$

де  $|b\_NDVI|$  – абсолютне значення коефіцієнта охолоджувального впливу рослинності;  $NDVI$  – середній рівень озеленення території;  $CEI$  – індекс неефективності охолодження;  $H$  – частка hotspot-зон як десятковий дріб (0–1). Вищі значення FRI відповідають вищій функціональній стійкості регулюючих екосистемних послуг і більшій стабільності кліматорегулюючих функцій міської зеленої інфраструктури. З метою уніфікації оцінювання нами запропоновано авторську класифікацію рівнів стійкості (табл. 2).

Концептуальні причинно-наслідкові зв'язки між вхідними чинниками, компонентами індексу та еколого-економічними наслідками зниження функціональної стійкості регулюючих екосистемних послуг представлені на рис. 1.

Схема відображає, як кліматичне навантаження, урбанізаційний тиск, воєнна дестабілізація та забезпеченість рослинністю формують через проміжні показники (охолоджувальна продуктивність, неефективність охолодження, тепла вразливість) інтегральний індекс функціональної стійкості регулюючих екосистемних послуг та

### 1. Методологічна схема формування Functional Resilience Index (FRI)

Етап	Компонент	Математичний вираз	Еколого-економічна інтерпретація
I	Індекс рослинності NDVI	NDVI	Запас природного капіталу
II	Охолоджувальна продуктивність	$ b\_NDVI $	Охолоджувальний потенціал рослинності
III	Індекс ефективності охолодження CEI	LST/NDVI	Неефективність охолодження
IV	Теплова вразливість	H	Просторова теплова вразливість
V	Індекс функціональної стійкості	$( b\_NDVI  \times NDVI) / (CEI \times H)$	Функціональна стійкість регулюючих екосистемних послуг
VI	Скоригована економічна оцінка	Avoided Cost $\times$ FRI	Скоригована еколого-економічна оцінка

Джерело: авторська розробка Страшка В.В.

### 2. Класифікація рівнів функціональної стійкості кліматорегулюючого природного капіталу за індексом FRI

Значення індексу FRI	Рівень функціональної стійкості
$\leq 0,2$	Критичний
0,2-1,0	Вразливий
$\geq 1,0$	Стабільний

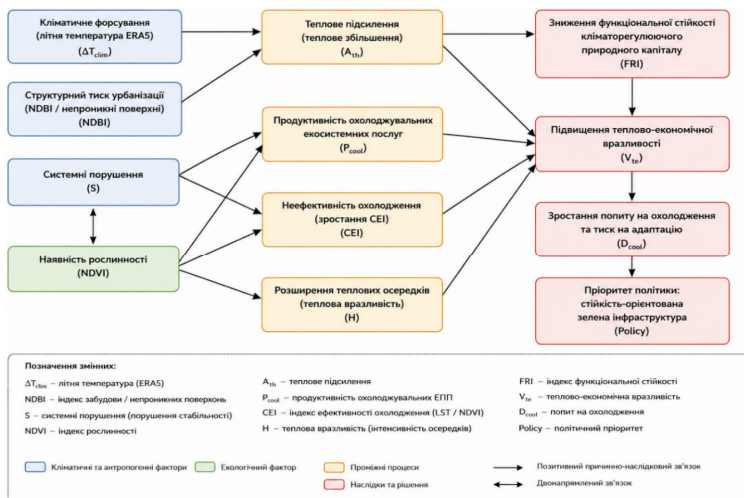
Джерело: авторська розробка Страшка В.В.

визначають рівень термoeкономічної вразливості урботериторії.

З метою врахування функціональної стійкості в еколого-економічній оцінці запропоновано підхід оцінювання з поправкою на резильєнтність:

$$\text{Adjusted Cooling Value} = \text{Avoided Cost} \times \text{FRI} \quad (9)$$

Цей підхід дозволяє відобразити не лише номінальну економічну цінність охолоджувальних регулюючих еко-



**Рис. 1. Концептуальна схема формування Індексу функціональної стійкості (FRI) охолоджувальних регулюючих екосистемних послуг міської зеленої інфраструктури та його еколого-економічні наслідки**

Джерело: розробка авторів.

### 3. Просторово-часова динаміка показників рослинності, теплового режиму, ефективності охолодження та функціональної стійкості регулюючих екосистемних послуг у м. Ірпінь (2015–2024)

Рік	NDVI ± SD	LST ± SD, °C	b_NDVI	b_NDBI	CEI ± SD	Hotspot, %	FRI	Уникнені витрати, €
2015	0,260 ± 0,083	32,51 ± 2,65	-13,27	+44,08	141,09 ± 67,96	1,42	1,72	-137,00
2018	0,283 ± 0,090	32,22 ± 3,02	-14,53	+49,13	134,05 ± 75,79	2,38	1,29	-164,26
2020	0,277 ± 0,096	33,93 ± 3,51	-15,30	+58,44	143,36 ± 83,74	14,76	0,20	0,00
2021	0,300 ± 0,097	35,11 ± 3,54	-18,96	+61,77	137,41 ± 80,12	23,89	0,17	+113,71
2022	0,295 ± 0,103	33,41 ± 3,53	-16,55	+64,24	137,47 ± 82,44	12,28	0,29	+50,34
2023	0,292 ± 0,098	32,41 ± 3,34	-17,78	+55,32	129,51 ± 78,10	3,48	1,15	-145,87
2024	0,279 ± 0,094	35,76 ± 2,74	-15,41	+59,08	151,74 ± 85,33	25,63	0,11	+176,60

Примітка:

уникнені витрати розраховані відносно базового 2020 р.;

від'ємні значення відображають нижчий рівень теплового навантаження порівняно з базовим роком, а не економічні збитки.

Джерело: авторська розробка Страшка В.В.

### 4. Коефіцієнти регресії між індексами NDVI, NDBI та LST (м. Ірпінь)

Рік	bNDVI	bNDBI
2015	-13,27	+44,08
2018	-14,53	+49,13
2020	-15,30	+58,44
2021	-18,96	+61,77
2022	-16,55	+64,24
2023	-17,78	+55,32
2024	-15,41	+59,08

Джерело: авторська розробка Страшка В.В.

системних послуг, а й їхню функціональну надійність в умовах теплового та урбанізаційного навантаження.

### Результати та їх обговорення

Зведені результати просторово-часового аналізу всіх розрахованих показників наведено у табл. 3. Детальна інтерпретація кожної групи показників здійснюється у відповідних підрозділах.

*Просторово-часова динаміка рослинності та температури поверхні*

Аналіз літніх супутникових композитів Landsat за 2015–2024 рр. виявив суттєву просторову неоднорідність розподілу рослинності та температури поверхні в межах м. Ірпінь. Найвищі значення NDVI характерні для територій із деревною рослинністю та лісовими масивами, найнижчі – для щільної забудови, транспортної інфраструктури та водонепроникних поверхонь. Упродовж досліджуваного періоду середні значення NDVI залишалися відносно стабільними (0,260–0,300), що свідчить про загальне збереження рослинного покриву попри активну урбанізацію.

Температурні характеристики демонстрували значно вищу міжрічну варіабельність. Після 2020 року зафіксовано різке зростання площ із підвищеними значеннями LST, що збігається з інтенсифікацією забудови та, з 2022 року, – з просторовою трансформацією урбосередовища

внаслідок воєнних руйнувань. Подібні закономірності описано у Weng et al. (2004), Yuan & Bauer (2007) та Zhou et al. (2011).

Отримані результати підтверджують, що оцінка лише кількості рослинності не дозволяє повною мірою охарактеризувати функціональний стан охолоджувальних регулюючих екосистемних послуг у міському середовищі.

*Взаємозв'язок між рослинністю та температурою поверхні*

Піксельний регресійний аналіз між NDVI, NDBI та LST підтвердив протилежний вплив рослинності та урбанізованих поверхонь на тепловий режим міського середовища (табл. 4).

Коефіцієнти регресії NDVI–LST були стабільно негативними впродовж усього досліджуваного періоду, що відображає методологічно очікуваний охолоджувальний ефект рослинності: зростання NDVI на одиницю супроводжується зниженням LST на величину  $|b\_NDVI|$ . Коефіцієнти NDBI–LST були стабільно позитивними, що підтверджує посилення накопичення тепла на урбанізованих поверхнях.

Найсильніший охолоджувальний ефект зафіксовано у 2021 р. ( $b\_NDVI = -18,96$ ), найбільший тепловий вплив забудови – у 2022 р. ( $b\_NDBI = +64,24$ ). Підвищення абсолютних значень  $b\_NDVI$  після 2020 р. свідчить про зростання термального контрасту між озеленими та урбанізованими ділянками в умовах посиленого теплового навантаження. Помітне зниження  $b\_NDBI$  у 2023–2024 рр. порівняно з 2022 р. може частково відображати скорочення активних будівельних поверхонь у період воєнних подій та подальшого віднов-

лення, що вплинуло на просторову структуру урбанізованих поверхонь і характер їхнього теплового впливу, що узгоджується з результатами досліджень інших вчених [24, 26, 31].

Після 2020 р. спостерігається одночасне посилення теплового впливу забудови, зростання площ hotspot-зон і зниження функціональної стійкості охолоджувальних регулюючих екосистемних послуг, що свідчить про те, що навіть за відносно стабільних значень NDVI урбанізаційне навантаження може істотно обмежувати кліматорегулюючі функції міської зеленої інфраструктури.

Динаміка теплових «гарячих точок» та просторова тепла вразливість

Аналіз теплових «гарячих точок» демонструє різке зростання площ із підвищеним тепловим навантаженням після 2020 р. (табл. 3). Найбільше поширення hotspot-зон зафіксовано у 2024 р. – 25,63 % площі дослідження, тоді як у 2015 р. цей показник становив лише 1,42 %. Теплові «гарячі точки» формувалися переважно в межах щільної забудови, транспортної інфраструктури та ділянок із низьким рівнем озеленення.

Динаміка hotspot-зон після 2020 року має виражений нелінійний характер: різке зростання у 2021 р. (23,89 %) змінилося помітним скороченням у 2022–2023 рр. (12,28 % та 3,48 % відповідно) з подальшим досягненням максимуму у 2024 р. (25,63 %). Скорочення у 2022–2023 рр. може пояснюватися кількома взаємопов'язаними чинниками: зупинкою активного будівництва в умовах воєнних дій, зменшенням інтенсивності землекористування на окремих ділянках, а також частковою зміною просторової структури

забудови внаслідок руйнувань [9, 18]. Водночас відновлення будівельної активності після 2023 р. і подальша просторова трансформація урбосередовища знову посилили теплову вразливість території, що відобразилось у максимальному значенні hotspot-зон у 2024 р.

Показово, що у 2021 та 2024 рр. різке зростання hotspot-зон відбувалося на тлі збереження сильного негативного зв'язку між NDVI та LST. Це підтверджує висновки Chakraborty et al. (2020) щодо нерівномірного просторового розподілу теплового навантаження та свідчить про те, що просторова тепла вразливість урботериторій визначається не нестачею рослинності як такою, а взаємодією між структурою забудови, фрагментацією зелених територій і кліматичним навантаженням.

*Ефективність охолоджувальних регулюючих екосистемних послуг*

Розрахунки індексу CEI демонструють суттєву міжрічну варіабельність із загальною тенденцією до зниження ефективності охолодження в умовах зростаючого теплового навантаження (табл. 3). Найвищі значення CEI (найнижча ефективність охолодження) зафіксовано у 2024 р. (151,74), що збігається з максимальним поширенням hotspot-зон. Найнижчі значення CEI – у 2023 р. (129,51) – відповідають мінімальному тепловому навантаженню того самого року.

Результати наших досліджень свідчать, що зниження ефективності охолоджувальних регулюючих екосистемних послуг в умовах посиленого теплового навантаження відбулося у 2024 році, коли зафіксовані найвищі значення CEI.

Отримані результати підтверджують, що за умов збереження

рослинного покриву функціональна ефективність охолодження може знижуватися під впливом зовнішнього теплового навантаження. Це узгоджується з положеннями теорії стійкості екосистем, згідно з якими структура системи може залишатися відносно стабільною, тоді як її функціональна ефективність поступово зменшується [4], і обґрунтовує необхідність переходу від статичної оцінки кількості зелених насаджень до аналізу функціональної ефективності кліматорегулюючих регулюючих екосистемних послуг.

*Еколого-економічна оцінка функціональної стійкості охолоджувальних екосистемних послуг*

На основі результатів дослідження запропоновано Functional Resilience Index (FRI), що інтегрує охолоджувальну продуктивність рослинності, рівень озеленення, ефективність охолодження та просторову теплову вразливість (табл. 3). Найнижчі значення FRI зафіксовано у 2024 р. (0,11) та 2021 р. (0,17), що відображає критичне зниження функціональної стійкості охолоджувальних регулюючих екосистемних послуг в умовах максимального теплового навантаження. Показово, що у 2021 р., незважаючи на найвищий охолоджувальний ефект рослинності ( $|b\_NDVI| = 18,96$ ), значення FRI залишалось низьким через значне поширення hotspot-зон (23,89%), що безпосередньо підтверджує основну гіпотезу дослідження: кількість рослинності не є достатнім показником функціональної стійкості кліматорегулюючих регулюючих екосистемних послуг.

Скоригована еколого-економічна оцінка (resilience-adjusted valuation) розраховувалась як добуток уникнутих витрат та FRI. Від'ємні значення

унікнених витрат у 2015, 2018, 2022 та 2023 роках відображають нижчий рівень теплового навантаження порівняно з базовим 2020 роком, а не реальні економічні збитки – тобто є розрахунковим артефактом обраної бази порівняння. Найвище значення скоригованої оцінки у 2024 р. (176,60 €) зумовлене максимальним тепловим навантаженням, однак низьке значення FRI (0,11) водночас сигналізує про критично знижену функціональну надійність регулюючих екосистемних послуг у цей рік.

Таким чином, навіть за відносно стабільного рослинного покриву функціональна ефективність та надійність охолоджувальних регулюючих екосистемних послуг можуть істотно знижуватися під впливом теплового навантаження, урбанізаційного тиску та просторової фрагментації урбосередовища. Динамічна трансформація структури землекористування м. Ірпінь – від переважно рекреаційних і сільськогосподарських угідь до інтенсивної житлової забудови – формує специфічні виклики для управління міськими землями в контексті збереження кліматорегулюючих функцій зеленої інфраструктури.

### ***Висновки і перспективи подальших досліджень***

Встановлено, що міська зелена інфраструктура м. Ірпінь забезпечує стабільний охолоджувальний ефект упродовж 2015–2024 років ( $b\_NDVI$  від  $-13,27$  до  $-18,96$ ), однак її функціональна ефективність визначається не лише рівнем озеленення, а й взаємодією між охолоджувальною здатністю рослинності, інтенсивністю забудови та просторовою тепловою вразливістю території.

Показано, що незважаючи на відносну стабільність середніх значень NDVI (0,260–0,300), після 2020 року зафіксовано різке зростання площ теплових «гарячих точок» (з 1,42 % у 2015 р. до 25,63 % у 2024 р.) та підвищення індексу CEI до максимального значення 151,74 у 2024 р., що свідчить про прогресуюче зниження функціональної ефективності охолоджувальних регулюючих екосистемних послуг в умовах зростаючого теплового й урбанізаційного навантаження. Тимчасове скорочення hotspot-зон у 2022–2023 рр. пов'язується з просторовою трансформацією урбосередовища внаслідок воєнних подій.

Запропоновано Functional Resilience Index (FRI), що інтегрує охолоджувальну продуктивність рослинності, рівень озеленення, ефективність охолодження та просторову теплову вразливість. Емпірично підтверджено, що критичне зниження FRI у 2021 р. (0,17) та 2024 р. (0,11) за одночасно високих значень  $|b\_NDVI|$  свідчить про недостатність кількості рослинності як індикатора функціональної стійкості охолоджувальних регулюючих екосистемних послуг.

Обґрунтовано підхід resilience-adjusted valuation – еколого-економічної оцінки, скоригованої на FRI, – що дозволяє врахувати функціональну надійність регулюючих екосистемних послуг в умовах теплового навантаження та отримати більш диференційовану оцінку природного капіталу міської зеленої інфраструктури порівняно з класичним методом уникнутих витрат.

Доведено необхідність переходу в системі міського планування від статичних показників площі озеленення до динамічної оцінки функціональної

стійкості регулюючих екосистемних послуг із урахуванням просторової структури зелених насаджень, інтенсивності забудови та рівня теплової вразливості території, що є необхідною умовою науково обґрунтованого управління міськими землями в контексті кліматичної адаптації та сталого розвитку урботериторій.

Запропонований методологічний підхід може слугувати інструментальною основою для підтримки управлінських рішень у сфері кліматичної адаптації, просторового планування та еколого-економічної оцінки природного капіталу приміських урбоекосистем, зокрема тих, що зазнають одночасного впливу урбанізаційного тиску, кліматичних змін і постконфліктної просторової трансформації.

#### Список використаної літератури

1. Bowler D. E., Buyung-Ali L., Knight T. M., Pullin A. S. Urban greening to cool towns and cities: a systematic review of the empirical evidence. *Landscape and Urban Planning*. 2010. Vol. 97, No. 3. P. 147–155. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2010.05.006> (дата звернення: 24.04.2026)
2. Chakraborty T., Hsu A., Manya D., Sheriff G. Disproportionately higher exposure to urban heat in lower-income neighborhoods. *Environmental Research Letters*. 2020. Vol. 15, No. 9. P. 094017. DOI:10.1088/1748-9326/ab3b99 (дата звернення: 07.05.2026)
3. Costanza R., d'Arge R., de Groot R., Farber S., Grasso M., Hannon B., Limburg K., Naeem S., O'Neill R. V., Paruelo J., Raskin R. G., Sutton P., van den Belt M. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*. 1997. Vol. 387. P. 253–260. DOI: <https://doi.org/10.1038/387253a0> (дата звернення: 21.04.2026)
4. Folke C., Carpenter S. R., Walker B., Scheffer M., Chapin T., Rockström J. Resilience thinking: integrating resilience, adaptability and transformability. *Ecology and Society*. 2010. Vol. 15, No. 4. P. 20. DOI: <https://doi.org/10.5751/ES-03610-150420> (дата звернення: 01.05.2026)
5. Ghanghermeh A., Roshan G., Asadi K., Attia S. Spatiotemporal analysis of urban heat islands and vegetation cover using Emerging Hotspot Analysis in a humid subtropical climate. *Atmosphere*. 2024. Vol. 15, No. 2. P. 161. DOI: <https://doi.org/10.3390/atmos15020161> (дата звернення: 03.05.2026)
6. Gill S. E., Handley J. F., Ennos A. R., Pauleit S. Adapting cities for climate change: the role of green infrastructure. *Built Environment*. 2007. Vol. 33, No. 1. P. 115–133. DOI: <https://doi.org/10.2148/benv.33.1.115> (дата звернення: 27.04.2026)
7. Gómez-Baggethun E., Barton D. N. Classifying and valuing ecosystem services for urban planning. *Ecological Economics*. 2013. Vol. 86. P. 235–245. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2012.08.019> (дата звернення: 25.04.2026)
8. Gorelick N., Hancher M., Dixon M., Ilyushchenko S., Thau D., Moore R. Google Earth Engine: planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sensing of Environment*. 2017. Vol. 202. P. 18–27. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.031> (дата звернення: 01.05.2026)
9. Gupta P., Shukla D. P. Implications of Russia-Ukraine war on land surface temperature and air quality: long-term and short-term analysis. *Environmental Science and Pollution Research International*. 2024. Vol. 31, No. 34. P. 46357–46375. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-024-32800-5> (дата звернення: 05.05.2026)
10. Gupta A., De B. the city-level thermal environment through the strategic integra-

- tion of green infrastructure. *International Journal of Biometeorology*. 2024. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00484-024-02733-2> (дата звернення: 07.05.2026)
11. Haase D., Larondelle N., Andersson E., Artmann M., Borgström S., Breuste J., Gomez-Baggethun E., Gren Å., Hamstead Z., Hansen R., Kabisch N., Kremer P., Lange-meyer J., Rall E. L., McPhearson T., Pauleit S., Qureshi S., Schwarz N., Voigt A., Wurster D., Elmqvist T. A quantitative review of urban ecosystem service assessments: concepts, models, and implementation. *Ambio*. 2014. Vol. 43, No. 4. P. 413–433. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13280-014-0504-0> (дата звернення: 06.05.2026)
  12. Hamoodi M. N. Investigating the effects of armed and political conflicts on the land use/cover change and surface urban heat islands: a case study of Baghdad, Iraq. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*. 2021. Vol. 49. P. 1493–1506. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12524-021-01330-9> (дата звернення: 17.04.2026)
  13. Hanna, E., Bruno, D. & Comín, F.A. (2024). The ecosystem services supplied by urban green infrastructure depend on their naturalness, functionality and imperviousness. *Urban Ecosystem*, 27, 187–202. <https://doi.org/10.1007/s11252-023-01442-9> (accessed: 20 May 2026) (дата звернення: 20.05.2026)
  14. IPCC. Climate Change 2023: Synthesis Report. Geneva : Intergovernmental Panel on Climate Change, 2023. URL: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/> (дата звернення: 19.04.2026)
  15. Lin, H., & Li, X. (2025). The Role of Urban Green Spaces in Mitigating the Urban Heat Island Effect: A Systematic Review from the Perspective of Types and Mechanisms. *Sustainability*, 17(13), 6132. <https://doi.org/10.3390/su17136132> (дата звернення: 20.05.2026)
  16. Meerow S., Newell J. P., Stults M. Defining urban resilience: a review. *Landscape and Urban Planning*. 2016. Vol. 147. P. 38–49. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2015.11.011> (дата звернення: 15.04.2026)
  17. Rao P., Tassinari P., Torreggiani D. Exploring the land-use urban heat island nexus under climate change conditions using machine learning approach: a spatio-temporal analysis of remotely sensed data. *Heliyon*. 2023. Vol. 9, No. 8. P. e18423. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e18423> (дата звернення: 03.05.2026)
  18. Roshan G., Ghanghermeh A., Sarli R., Grab S. W. Environmental impacts of shifts in surface urban heat island, emissions, and nighttime light during the Russia-Ukraine war in Ukrainian cities. *Environmental Science and Pollution Research International*. 2024. Vol. 31, No. 32. P. 45246–45263. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-024-34050-x> (дата звернення: 26.04.2026)
  19. Rouse J. W., Haas R. H., Schell J. A., Deering D. W. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. NASA Special Publication. 1974. Vol. 351. P. 309–317. (дата звернення: 01.05.2026)
  20. Santamouris M. Regulating the damaged thermostat of the cities: status, impacts and mitigation challenges. *Energy and Buildings*. 2015. Vol. 91. P. 43–56. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.01.027> (дата звернення: 06.05.2026)
  21. TEEB. (2010). The economics of ecosystems and biodiversity: Mainstreaming the economics of nature. London, UK: Earthscan.
  22. Tucker C. J. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sensing of Environment*. 1979. Vol. 8, No. 2. P. 127–150. DOI: [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(79\)90013-0](https://doi.org/10.1016/0034-4257(79)90013-0) (дата звернення: 28.04.2026)
  23. Voogt J. A., Oke T. R. Thermal remote sensing of urban climates. *Remote Sensing of Environment*. 2003. Vol. 86, No. 3. P. 370–

384. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(03\)00079-8](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(03)00079-8) (дата звернення: 22.04.2026)
24. Weng Q., Lu D., Schubring J. Estimation of land surface temperature–vegetation abundance relationship for urban heat island studies. *Remote Sensing of Environment*. 2004. Vol. 89, No. 4. P. 467–483. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2003.11.005> (дата звернення: 23.04.2026)
25. Yao, Y., Zheng, H., Ouyang, Z., Gong, C., Zhang, J., Ying, L., & Wen, Z. (2025). Impact of urban green infrastructure on ecosystem services: A systematic review. *Ecological Indicators*, 178, 113885. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2025.113885> (дата звернення: 20.05.2026)
26. Yuan F., Bauer M. E. Comparison of impervious surface area and NDVI as indicators of surface urban heat island effects in Landsat imagery. *Remote Sensing of Environment*. 2007. Vol. 106, No. 3. P. 375–386. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2006.09.003> (дата звернення: 03.05.2026)
27. Yuan, T. (2024). The role of green infrastructure in mitigating the urban heat island effect. *Open Journal of Applied Sciences*, 14(11), 3155–3164. <https://doi.org/10.4236/ojapps.2024.1411207> (дата звернення: 20.05.2026)
28. Zanter, K. (2024). Landsat Surface Temperature Product Guide (LSDS-1330 Version 2.0). U.S. Geological Survey. <https://www.usgs.gov/landsat-missions> (дата звернення: 20.05.2026)
29. Zha Y., Gao J., Ni S. Use of normalized difference built-up index in automatically mapping urban areas from TM imagery. *International Journal of Remote Sensing*. 2003. Vol. 24, No. 3. P. 583–594. DOI: <https://doi.org/10.1080/01431160304987> (дата звернення: 24.04.2026)
30. Zhou W., Huang G., Cadenasso M. L. Does spatial configuration matter? Understanding the effects of land cover pattern on land surface temperature in urban landscapes. *Landscape and Urban Planning*. 2011. Vol. 102, No. 1. P. 54–63. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2011.03.009> (дата звернення: 01.05.2026)
31. Ziter C. D., Pedersen E. J., Kucharik C. J., Turner M. G. Scale-dependent interactions between tree canopy cover and impervious surfaces reduce daytime urban heat during summer. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2019. Vol. 116, No. 15. P. 7575–7580. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.1817561116> (дата звернення: 29.04.2026)

### References

1. Bowler, D. E., Buyung-Ali, L., Knight, T. M., & Pullin, A. S. (2010). Urban greening to cool towns and cities: A systematic review of the empirical evidence. *Landscape and Urban Planning*, 97(3), 147–155. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2010.05.006> (accessed: 24 April 2026)
2. Chakraborty, T., Hsu, A., Manya, D., & Sheriff, G. (2020). Disproportionately higher exposure to urban heat in lower-income neighborhoods. *Environmental Research Letters*, 15(9), 094017. DOI:10.1088/1748-9326/ab3b99 (accessed: 7 May 2026)
3. Costanza, R., d'Arge, R., de Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., Limburg, K., Naeem, S., O'Neill, R. V., Paruelo, J., Raskin, R. G., Sutton, P., & van den Belt, M. (1997). The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 387, 253–260. <https://doi.org/10.1038/387253a0> (accessed: 21 April 2026)
4. Folke, C., Carpenter, S. R., Walker, B., Schaffer, M., Chapin, T., & Rockström, J. (2010). Resilience thinking: Integrating resilience, adaptability and transformability. *Ecology and Society*, 15(4), 20. <https://doi.org/10.5751/ES-03610-150420> (accessed: 1 May 2026)
5. Ghanghermeh, A., Roshan, G., Asadi, K., & Attia, S. (2024). Spatiotemporal analy-

- sis of urban heat islands and vegetation cover using Emerging Hotspot Analysis in a humid subtropical climate. *Atmosphere*, 15(2), 161. <https://doi.org/10.3390/atmos15020161> (accessed: 3 May 2026)
6. Gill, S. E., Handley, J. F., Ennos, A. R., & Pauleit, S. (2007). Adapting cities for climate change: The role of green infrastructure. *Built Environment*, 33(1), 115–133. <https://doi.org/10.2148/benv.33.1.115> (accessed: 27 April 2026)
  7. Gómez-Baggethun, E., & Barton, D. N. (2013). Classifying and valuing ecosystem services for urban planning. *Ecological Economics*, 86, 235–245. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2012.08.019> (accessed: 25 April 2026)
  8. Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D., & Moore, R. (2017). Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sensing of Environment*, 202, 18–27. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.031> (accessed: 1 May 2026)
  9. Gupta, P., & Shukla, D. P. (2024). Implications of Russia-Ukraine war on land surface temperature and air quality: Long-term and short-term analysis. *Environmental Science and Pollution Research International*, 31(34), 46357–46375. <https://doi.org/10.1007/s11356-024-32800-5> (accessed: 5 May 2026)
  10. Gupta, A., & De, B. (2024). Enhancing the city-level thermal environment through the strategic integration of green infrastructure. *International Journal of Biometeorology*. <https://doi.org/10.1007/s00484-024-02733-2> (accessed: 7 May 2026)
  11. Haase, D., Larondelle, N., Andersson, E., Artmann, M., Borgström, S., Breuste, J., Gomez-Baggethun, E., Gren, Å., Hamstead, Z., Hansen, R., Kabisch, N., Kremer, P., Langemeyer, J., Rall, E. L., McPhearson, T., Pauleit, S., Qureshi, S., Schwarz, N., Voigt, A., ... Elmqvist, T. (2014). A quantitative review of urban ecosystem service assessments: Concepts, models, and implementation. *Ambio*, 43(4), 413–433. <https://doi.org/10.1007/s13280-014-0504-0> (accessed: 6 May 2026)
  12. Hamoodi, M. N. (2021). Investigating the effects of armed and political conflicts on the land use/cover change and surface urban heat islands: A case study of Baghdad, Iraq. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 49, 1493–1506. <https://doi.org/10.1007/s12524-021-01330-9> (accessed: 17 April 2026)
  13. Hanna, E., Bruno, D. & Comín, F.A. (2024). The ecosystem services supplied by urban green infrastructure depend on their naturalness, functionality and imperviousness. *Urban Ecosystem*, 27, 187–202. <https://doi.org/10.1007/s11252-023-01442-9> (accessed: 20 May 2026)
  14. IPCC. (2023). Climate change 2023: Synthesis report. Intergovernmental Panel on Climate Change. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/> (accessed: 19 April 2026)
  15. Lin, H., & Li, X. (2025). The Role of Urban Green Spaces in Mitigating the Urban Heat Island Effect: A Systematic Review from the Perspective of Types and Mechanisms. *Sustainability*, 17(13), 6132. <https://doi.org/10.3390/su17136132> (accessed: 20 May 2026)
  16. Meerow, S., Newell, J. P., & Stults, M. (2016). Defining urban resilience: A review. *Landscape and Urban Planning*, 147, 38–49. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2015.11.011> (accessed: 15 April 2026)
  17. Rao, P., Tassinari, P., & Torreggiani, D. (2023). Exploring the land-use urban heat island nexus under climate change conditions using machine learning approach: A spatio-temporal analysis of remotely sensed data. *Heliyon*, 9(8), e18423. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e18423> (accessed: 3 May 2026)
  18. Roshan, G., Ghanghermeh, A., Sarli, R., & Grab, S. W. (2024). Environmental impacts of shifts in surface urban heat island,

- emissions, and nighttime light during the Russia-Ukraine war in Ukrainian cities. *Environmental Science and Pollution Research International*, 31(32), 45246–45263. <https://doi.org/10.1007/s11356-024-34050-x> (accessed: 26 April 2026)
19. Rouse, J. W., Haas, R. H., Schell, J. A., & Deering, D. W. (1974). Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. NASA Special Publication, 351, 309–317. (accessed: 1 May 2026)
  20. Santamouris, M. (2015). Regulating the damaged thermostat of the cities: Status, impacts and mitigation challenges. *Energy and Buildings*, 91, 43–56. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.01.027> (accessed: 6 May 2026)
  21. TEEB. (2010). The economics of ecosystems and biodiversity: Mainstreaming the economics of nature. London, UK: Earthscan.
  22. Tucker, C. J. (1979). Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sensing of Environment*, 8(2), 127–150. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(79\)90013-0](https://doi.org/10.1016/0034-4257(79)90013-0) (accessed: 28 April 2026)
  23. Voogt, J. A., & Oke, T. R. (2003). Thermal remote sensing of urban climates. *Remote Sensing of Environment*, 86(3), 370–384. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(03\)00079-8](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(03)00079-8) (accessed: 22 April 2026)
  24. Weng, Q., Lu, D., & Schubring, J. (2004). Estimation of land surface temperature–vegetation abundance relationship for urban heat island studies. *Remote Sensing of Environment*, 89(4), 467–483. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2003.11.005> (accessed: 23 April 2026)
  25. Yao, Y., Zheng, H., Ouyang, Z., Gong, C., Zhang, J., Ying, L., & Wen, Z. (2025). Impact of urban green infrastructure on ecosystem services: A systematic review. *Ecological Indicators*, 178, 113885. [doi.org/10.1016/j.ecolind.2025.113885](https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2025.113885) (accessed: 20 May 2026)
  26. Yuan, F., & Bauer, M. E. (2007). Comparison of impervious surface area and NDVI as indicators of surface urban heat island effects in Landsat imagery. *Remote Sensing of Environment*, 106(3), 375–386. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2006.09.003> (accessed: 3 May 2026)
  27. Yuan, T. (2024). The role of green infrastructure in mitigating the urban heat island effect. *Open Journal of Applied Sciences*, 14(11), 3155–3164. <https://doi.org/10.4236/ojapps.2024.1411207> (accessed: 20 May 2026)
  28. Zanter, K. (2024). Landsat Surface Temperature Product Guide (LSDS-1330 Version 2.0). U.S. Geological Survey. <https://www.usgs.gov/landsat-missions> (accessed: 20 May 2026)
  29. Zha, Y., Gao, J., & Ni, S. (2003). Use of normalized difference built-up index in automatically mapping urban areas from TM imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 24(3), 583–594. <https://doi.org/10.1080/01431160304987> (accessed: 24 April 2026)
  30. Zhou, W., Huang, G., & Cadenasso, M. L. (2011). Does spatial configuration matter? Understanding the effects of land cover pattern on land surface temperature in urban landscapes. *Landscape and Urban Planning*, 102(1), 54–63. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2011.03.009> (accessed: 1 May 2026)
  31. Ziter, C. D., Pedersen, E. J., Kucharik, C. J., & Turner, M. G. (2019). Scale-dependent interactions between tree canopy cover and impervious surfaces reduce daytime urban heat during summer. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 116(15), 7575–7580. <https://doi.org/10.1073/pnas.1817561116> (accessed: 29 April 2026)

**Strashok V., Raichuk L.**

**ECOLOGICAL AND ECONOMIC ASSESSMENT OF THE COOLING ECOSYSTEM SERVICES OF GREEN INFRASTRUCTURE CONSIDERING FUNCTIONAL RESILIENCE IN URBAN LAND MANAGEMENT**

LAND MANAGEMENT, CADASTRE AND LAND MONITORING 2'26: 163-178.

<http://dx.doi.org/10.31548/zemleustriy2026.02.11>

**Abstract.** *Urbanization and climate change reduce the effectiveness of the cooling regulating ecosystem services (RES) of urban green infrastructure; however, their ecological and economic assessment considering functional resilience—especially for suburban urban ecosystems under conditions of armed conflict—remains insufficiently developed. The aim of this study is to provide an ecological and economic assessment of urban green infrastructure as climate-regulating natural capital and to develop an approach for assessing cooling RES considering functional resilience using the case of Irpin during 2015–2024. The analysis was based on summer median Landsat 8/9 composites, ERA5-Land climate data, and pixel-based regression analysis in Google Earth Engine using NDVI, LST, NDBI, the Cooling Efficiency Index (CEI), and thermal hotspot dynamics analysis. A stable cooling effect of vegetation throughout the study period was identified (NDVI–LST regression coefficients ranging from –13.27 to –18.96), alongside a pronounced thermal impact of built-up areas (NDBI–LST ranging from +44.08 to +64.24). Despite relatively stable NDVI values (0.260–0.300), the area of thermal hotspots increased sharply after 2020, reaching 25.63% of the territory in 2024, while CEI indicated the maximum decline in cooling efficiency. The scientific novelty of the study is the proposed Functional Resilience Index (FRI), which integrates vegetation cooling performance, greenness level, cooling efficiency, and spatial thermal vulnerability. The critical decline of FRI from 1.72 in 2015 to 0.11 in 2024 empirically demonstrates that quantitative vegetation indicators alone are insufficient for assessing the functional resilience of RES. The proposed resilience-adjusted approach provides a more differentiated ecological and economic assessment of the natural capital of urban green infrastructure compared to the classical avoided cost method and may serve as an instrumental basis for decision-making in climate adaptation and urban land management.*

**Key words:** *urban heat island, avoided cost method, regulating ecosystem services, cooling efficiency.*

---

---

## АНАЛІЗ КАРТОГРАФІЧНИХ МОДЕЛЕЙ ЕКОЛОГІЧНОЇ СТАБІЛЬНОСТІ ТА АНТРОПОГЕННОГО НАВАНТАЖЕННЯ ЖИДАЧІВСЬКОЇ МТГ

---

**А.В. ПИРИГ<sup>1</sup>,**

аспірант,

[a.pyrih@ukr.net](mailto:a.pyrih@ukr.net)

ORCID 0009-0009-9321-4393

*Львівський національний університет ветеринарної медицини  
та біотехнологій ім. С.З. Гжицького*

**Анотація.** У статті обґрунтовано методичний підхід до оцінки та оптимізації землекористування територіальних громад на основі інтеграції геоінформаційного аналізу, екологічних індикаторів та картографічного моделювання. Дослідження виконано на прикладі Жидачівської міської територіальної громади, для якої проаналізовано сучасну структуру землекористування та встановлено домінування ріллі (близько 45 %), що зумовлює підвищений рівень антропогенного навантаження та зниження екологічної стійкості території. Проведено комплексну оцінку екологічного стану із застосуванням коефіцієнтів екологічної стабільності, антропогенного навантаження та інтегрального показника, що дозволило кількісно та просторово охарактеризувати рівень трансформації ландшафтів. Виявлено просторову диференціацію екологічного стану території та виділено зони різного рівня екологічної напруженості, зокрема центральні урбанізовані території як осередки підвищеного навантаження та периферійні ділянки як зони відносної стабілізації. Побудовано серію картографічних моделей, які відображають структуру землекористування, рівень антропогенного впливу та інтегральний екологічний стан, що дало змогу встановити просторові закономірності трансформації території. Запропоновано сценарій оптимізації землекористування, спрямований на збільшення площ природних угідь, зменшення розораності та формування екологічного каркасу. Отримані результати можуть бути використані для підтримки прийняття управлінських рішень у сфері раціонального використання земельних ресурсів та забезпечення сталого розвитку територіальних громад.

**Ключові слова:** землекористування; територіальна громада; екологічна стабільність; антропогенне навантаження; картографічне моделювання; ГІС; інтегральний показник; оптимізація території; сталий розвиток

---

*Науковий керівник – доктор економічних наук, професор Ковалишин О. Ф.*

## **Актуальність**

Раціональне використання земельних ресурсів є однією з ключових умов забезпечення сталого розвитку територіальних громад. В умовах децентралізації та трансформації системи управління територіями особливої актуальності набуває питання ефективного планування землекористування з урахуванням екологічних обмежень і господарських потреб.

Сучасна структура землекористування багатьох територіальних громад України характеризується високим рівнем розораності, фрагментацією природних екосистем і зниженням їх екологічної стійкості. Це призводить до деградації земель, зниження біорізноманіття та підвищення ризиків екологічної небезпеки. Як показано у дослідженні, для Жидачівської МТГ характерне домінування сільськогосподарського використання з високим рівнем розораності території та рівнем антропогенного навантаження. Водночас існує потреба у впровадженні інструментів, які дозволяють комплексно оцінювати стан території та обґрунтовувати напрями її оптимізації.

Таким чином, актуальним є розроблення методичних підходів до оцінки та оптимізації землекористування на основі інтеграції геоінформаційних технологій, екологічних показників і просторового аналізу.

### **Аналіз останніх публікацій**

Проблематика оцінки екологічного стану територій та оптимізації землекористування широко висвітлена у працях вітчизняних і зарубіжних науковців. Значний внесок у розвиток

теоретичних засад раціонального використання земель зробили С.І. Дорогунцов, А.М. Третьак, О.І. Дребот, які розглядали питання екологічно збалансованого землекористування та формування сталих моделей управління земельними ресурсами [1–3].

Методичні підходи до оцінки екологічної стабільності територій розроблені у працях О.В. Кучера, П.Г. Шищенко, де обґрунтовано використання системи коефіцієнтів для характеристики стану ландшафтів і визначення рівня їх екологічної стійкості [4, 5].

Сучасні дослідження активно використовують геоінформаційні системи та дані дистанційного зондування Землі для аналізу землекористування та моніторингу змін довкілля. Зокрема, у роботах J. Malczewski розглянуто застосування багатокритеріального аналізу (MCDA) у просторовому плануванні, що дозволяє інтегрувати різні фактори у процесі прийняття рішень [6, 7]. Питання картографічного моделювання екологічного стану територій та оцінки антропогенного навантаження висвітлені у працях P. Burrough, M. Goodchild, які обґрунтували роль геоінформаційних систем у просторовому аналізі [8, 9].

Останні дослідження (2020–2024 рр.), індексовані у базах Scopus, свідчать про активний розвиток інтегрованих підходів до оцінки землекористування з використанням ГІС, ДЗЗ та методів машинного навчання. Зокрема, у роботах Liu et al. [10] та Zhang et al. [11] розглянуто використання супутникових даних для оцінки змін землекористування та екологічних ризиків. Дослідження Rahman et al. [12] і Wang et al. [13] присвячені застосуванню багатокритеріального аналізу та геопросторового моделю-

вання для оптимізації територіального планування. У працях Chen et al. [14] та Li et al. [15] обґрунтовано використання інтегральних індикаторів для оцінки екологічного стану територій та підтримки управлінських рішень. Liu et al. [16] підкреслюють, що ефективне планування землекористування потребує інтеграції моделей людської діяльності та реакцій екологічних систем, що обґрунтовує необхідність поєданого соціо-екологічного аналізу для забезпечення сталого розвитку територій. Водночас, незважаючи на значну кількість досліджень, недостатньо розробленими залишаються питання інтегрованої оцінки землекористування на рівні територіальних громад із урахуванням просторової диференціації показників екологічної стабільності та антропогенного навантаження, що обумовлює необхідність подальших досліджень у цьому напрямі.

**Мета і завдання досліджень** полягають в обґрунтуванні методичного підходу до оцінки екологічного стану та оптимізації землекористування територіальних громад на основі інтеграції геоінформаційного аналізу, картографічного моделювання та системи екологічних індикаторів на прикладі Жидачівської міської територіальної громади. Для досягнення мети передбачено аналіз структури землекористування, оцінку рівнів екологічної стабільності й антропогенного навантаження, розрахунок інтегрального показника, побудову картографічних моделей і виявлення просторових закономірностей екологічного стану території з подальшим обґрунтуванням напрямів оптимізації землекористування відповідно до принципів сталого розвитку.

## **Матеріали і методи дослідження**

У дослідженні використано матеріали Державного земельного кадастру, дані дистанційного зондування Землі, топографічні та тематичні карти, а також відкриті геопросторові бази даних. Методична основа базується на застосуванні геоінформаційного аналізу та картографічного моделювання. Для оцінки екологічного стану території використано розрахунок коефіцієнтів екологічної стабільності та антропогенного навантаження з подальшим визначенням інтегрального показника. Просторовий аналіз виконано з використанням ГІС-технологій, що дозволило здійснити зонування території та виявити закономірності трансформації.

## **Результати та їх обговорення**

Побудовані картографічні моделі структури землекористування, екологічної стабільності та антропогенного навантаження дозволили здійснити комплексну оцінку сучасного стану території Жидачівської міської територіальної громади.

Аналіз карти структури угідь свідчить про чітко виражену аграрну орієнтацію території, оскільки домінуючим видом землекористування є рілля, частка якої становить близько 45 %. Просторово орні землі зосереджені переважно у центральній та східній частинах громади, зокрема у межах Вільховецького та Зарічанського старостинських округів, що формує зони підвищеного антропогенного тиску (рис. 1). Лісові угіддя, які виконують ключову стабілізуючу функцію, займають близько 12 % території та мають нерівномірний роз-

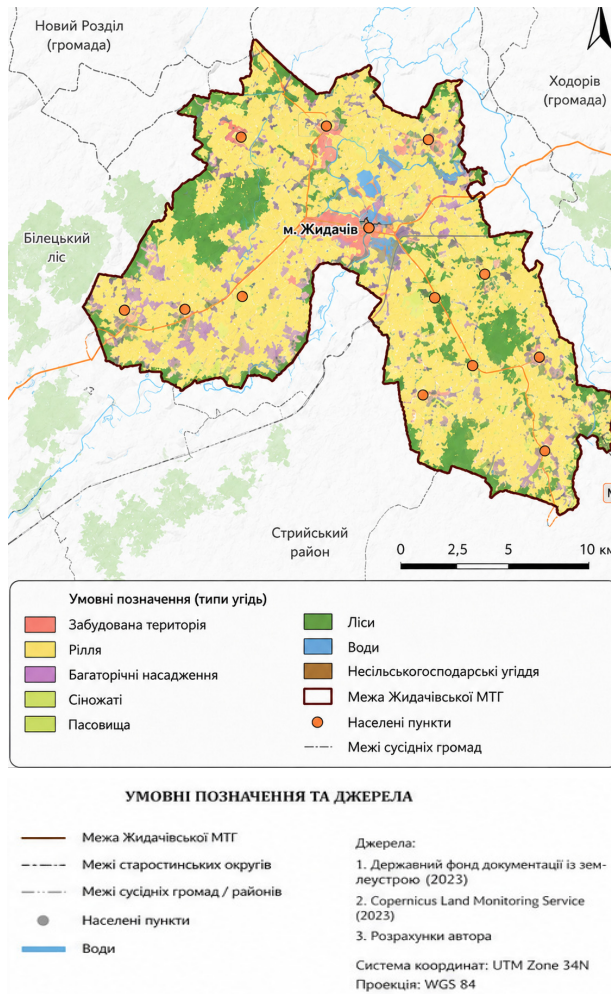


Рис. 1. Картографічна модель структури Жидачівської МТГ

поділ. У таблиці 1 показано кількісні показники структури землекористування.

Основні їх масиви зосереджені у Бережницькому та Млиниському СО округах, де вони формують своєрідний екологічний каркас території та забезпечують підтримання природної рівноваги. Лучні угіддя, представлені сіножатями та пасовищами, займають близько 28 % площі (рис. 2).

Для обчислення коефіцієнта екологічної стабільності використовується формула

$$K_{ec} = \frac{\sum(S_i \cdot k_i)}{S_{zag}}$$

де  $S_i$  - площа певного виду угідь,  $K_i$  - коефіцієнт екологічної значущості угіддя,  $S_{zag}$  - загальна площа території.

### 1. Кількісні показники структури землекористування (Жидачівська МТГ)

Тип угідь	Площа , га
Забудована територія	1030,22
Рілля	7552,06
Багаторічні насадження	143,32
Сіножаті	2524,27
Пасовища	2204,20
Нес.-г. угіддя	648,16
Води	686,73
Ліси	2017,03
Разом	16805,99

Вони відіграють важливу буферну роль, відокремлюючи інтенсивно освоєні території від природних екосистем. Однак їх просторове розміщення є фрагментованим, що знижує загальну ефективність екологічної стабілізації.

Просторовий аналіз коефіцієнта екологічної стабільності ( $K_{ec}$ ) по-

казав, що його значення варіюють у межах від 0,30 до 0,53, що відповідає діапазону від низького до середнього рівня екологічної стабільності. Найбільш несприятливі умови сформувалися у місті Жидачів, де значення показника становить близько 0,30, що зумовлено високою часткою забудованих територій та значним рівнем антропогенного перетворення ландшафтів. Подібна ситуація спостерігається у Зарічанському старостинському окрузі ( $K_{ec} \approx 0,35$ ), де домінує інтенсивне сільськогосподарське використання земель.

Найвищі значення коефіцієнта екологічної стабільності зафіксовано у Бережницькому ( $K_{ec} \approx 0,53$ ) та Млиниському ( $K_{ec} \approx 0,49-0,52$ ) старостинських округах. Це пояснюється значною часткою лісових та природних кормових угідь, які виконують функцію стабілізації екологічного стану території. Вільховецький округ характеризується середнім рівнем стабільності ( $K_{ec} \approx 0,41$ ) та по-

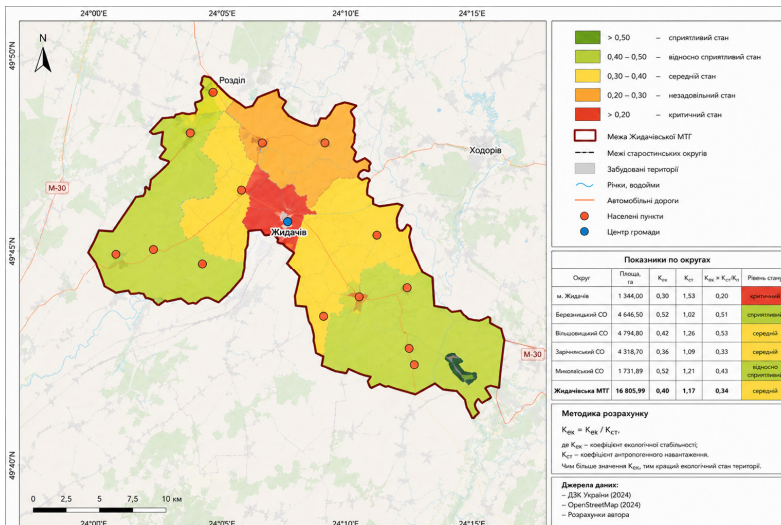


Рис. 2. Картографічна модель екологічної стабільності землекористування Жидачівської МТГ

єднує як стабілізуючі, так і дестабілізуючі елементи землекористування. Загальне значення коефіцієнта екологічної стабільності для всієї громади становить близько 0,40, що свідчить про низький рівень екологічної збалансованості території.

У роботі визначено коефіцієнт антропогенного навантаження ( $K_{ан}$ ) по округах за формулою

$$K_{ан} = \frac{\sum(S_i \cdot a_i)}{S_{заг}}$$

та інтегральний індекс за формулою

$$K_{інт} = \frac{K_{ес}}{K_{ан}}$$

Побудована картографічна модель антропогенного навантаження (рис. 3).

Ця модель відображає просторову диференціацію рівня трансформації території Жидачівської міської тери-

торіальної громади та дозволяє візуалізувати інтенсивність господарського впливу у межах старостинських округів. На відміну від табличних розрахунків, карта забезпечує цілісне уявлення про територіальну структуру навантаження та виявляє просторові закономірності його формування.

Аналіз картографічного зображення свідчить про наявність чітко вираженого центр-периферійного градієнта антропогенного навантаження. Максимальні значення показника приурочені до центральної частини громади – території міста Жидачів, яка виступає ядром господарської активності. Тут сформована зона дуже високого антропогенного навантаження, що пов'язано з концентрацією забудови, транспортної інфраструктури та виробничих об'єктів. Просторово ця зона має компактний характер і чітко відмежовується від навколишніх територій.

Навколо центральної частини

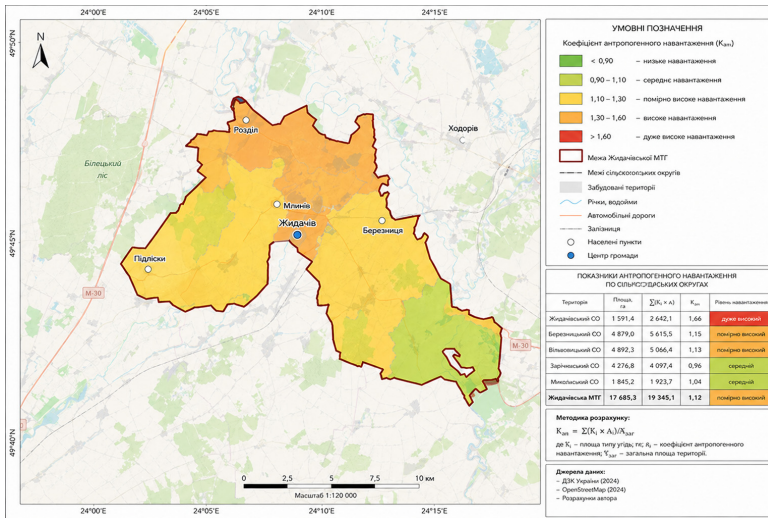


Рис. 3. Картографічна модель антропогенного навантаження Жидачівської МТГ

формується пояс підвищеного навантаження, який охоплює переважно Вільховецький та частково Млиниський старостинські округи. Для цих територій характерне поєднання інтенсивного сільськогосподарського використання земель із розвиненою мережею поселень, що зумовлює формування зон помірно високого антропогенного впливу. Просторово ці території виконують роль перехідної зони між урбанізованим ядром та більш природними периферійними ділянками.

Периферійні частини громади характеризуються зниженням антропогенного навантаження. Зокрема, Бережницький старостинський округ відзначається відносно нижчим рівнем навантаження, що пов'язано з більшою часткою лісових і природних угідь. Подібна тенденція спостерігається і у Зарічанському окрузі, де, попри значну частку ріллі, загальний рівень навантаження є помірним через меншу концентрацію забудови та інфраструктури.

Важливою особливістю картографічної моделі є те, що вона дозволяє виявити не лише загальні рівні навантаження, але й морфологію його просторового розподілу. Зокрема, антропогенний вплив поширюється вздовж транспортних коридорів і зон господарської активності, формуючи лінійно-витягнуті структури. Водночас природні елементи ландшафту, такі як ліси та водні об'єкти, виступають як локальні осередки зниження антропогенного навантаження.

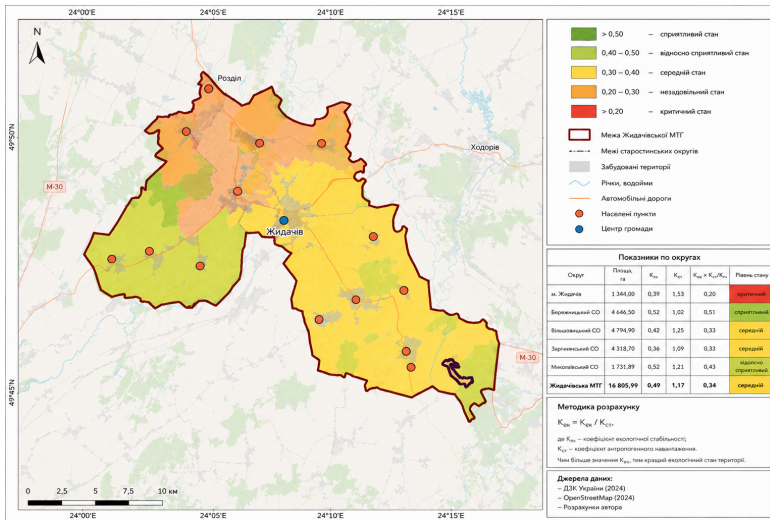
Отримана картографічна модель також демонструє фрагментованість території за рівнем антропогенного впливу, що є характерною ознакою інтенсивно освоєних аграрних ландшафтів. Відсутність великих масивів

природних територій призводить до того, що зони з низьким навантаженням мають локальний характер і не формують єдиної екологічної мережі.

Таким чином, картографічна інтерпретація антропогенного навантаження дозволяє встановити просторові закономірності трансформації території Жидачівської МТГ, виділити ядра максимального впливу та периферійні стабілізуючі зони, а також обґрунтувати необхідність формування збалансованої просторової структури землекористування. На відміну від числових оцінок, карта надає можливість інтегрованого аналізу, що є важливим для прийняття управлінських рішень у сфері територіального планування та екологічної безпеки.

Побудована картографічна модель інтегрального екологічного стану (рис. 3), сформована на основі співвідношення коефіцієнтів екологічної стабільності та антропогенного навантаження, дозволяє виявити просторову структуру екологічної якості території Жидачівської міської територіальної громади. На відміну від числових оцінок, представлена модель відображає не лише рівень показників, але й характер їх територіального поєднання, що дає змогу інтерпретувати екологічний стан як результат взаємодії природних і антропогенних чинників.

Картографічне зображення демонструє формування концентрично-градієнтної структури інтегрального екологічного стану, в якій центральна частина громади виступає зоною найбільшої екологічної напруженості. Територія міста Жидачів чітко виділяється як осередок критичного стану, що пов'язано з високою інтенсивністю антропогенного впливу та



**Рис. 4. Картографічна модель інтегрального екологічного стану території Жидачівської міської територіальної громади (за інтегральним коефіцієнтом)**

недостатньою часткою природних стабілізуючих елементів. Просторово ця зона має компактний характер і виступає ядром негативного впливу, від якого відбувається поступове зменшення екологічної напруженості у напрямку до периферії.

Навколо центральної частини формується пояс територій із середнім рівнем екологічного стану, який охоплює Вільховецький та Зарічанський старостинські округи. Для цих ділянок характерне поєднання значного антропогенного навантаження з наявністю окремих стабілізуючих елементів, що не дозволяє сформувати високий рівень екологічної якості (рис. 4). Просторово ці території виконують роль буферної зони між критичним ядром і більш стабільними периферійними частинами.

Периферійні території громади характеризуються більш сприятли-

вим екологічним станом. Зокрема, Бережницький старостинський округ формує зону відносно високої екологічної якості, що зумовлено значною часткою лісових угідь і меншою інтенсивністю господарського освоєння. Млинівський округ займає проміжне положення, демонструючи покращення екологічного стану порівняно з центральною частиною, однак із збереженням певного рівня антропогенного впливу.

Особливістю картографічної моделі є відображення просторової взаємодії процесів стабілізації та дестабілізації ландшафтів. Природні території формують локальні осередки підвищення екологічної якості, тоді як урбанізовані та інтенсивно освоєні ділянки створюють зони її зниження. Така мозаїчність структури свідчить про недостатню сформованість цілісного екологічного каркасу території.

Важливим результатом є виявлення того, що інтегральний екологічний стан території визначається не лише часткою окремих типів угідь, а й їх просторовим поєднанням та конфігурацією. Саме це обумовлює різну якість середовища навіть за близьких значень окремих показників.

Таким чином, картографічна модель інтегрального коефіцієнта дозволяє інтерпретувати територію Жидачівської МТГ як систему взаємопов'язаних зон різного екологічного стану, де центральні урбанізовані території виступають осередками напруженості, а периферійні природні ділянки — зонами стабілізації. Отримані результати можуть бути використані як просторово-аналітична основа для формування заходів щодо оптимізації землекористування та підвищення екологічної стійкості території.

Картографічна модель інтегрального коефіцієнта відображає чітку просторову диференціацію екологічного стану території Жидачівської МТГ із виділенням зони критичного

стану в межах м. Жидачів та відносно сприятливих умов на периферії. Встановлено, що поєднання високого антропогенного навантаження та низької екологічної стабільності формує осередки екологічної напруженості, тоді як природні території виконують стабілізуючу функцію. Це підтверджує необхідність просторово диференційованого підходу до оптимізації землекористування (рис. 5).

Аналіз карти антропогенного навантаження (Кан) підтверджує наявність оберненої залежності між інтенсивністю господарського освоєння та екологічною стабільністю. Найвище значення показника характерне для м. Жидачів (Кан  $\approx 1,54$ ), що зумовлено високим рівнем урбанізації, концентрацією інфраструктури та інтенсивним використанням території. Підвищений рівень антропогенного навантаження спостерігається також у Вільховецькому ( $\approx 1,25$ ) та Млиниському ( $\approx 1,21$ ) округах, де домінує сільськогосподарське використання земель. У Зарічанському окрузі зна-

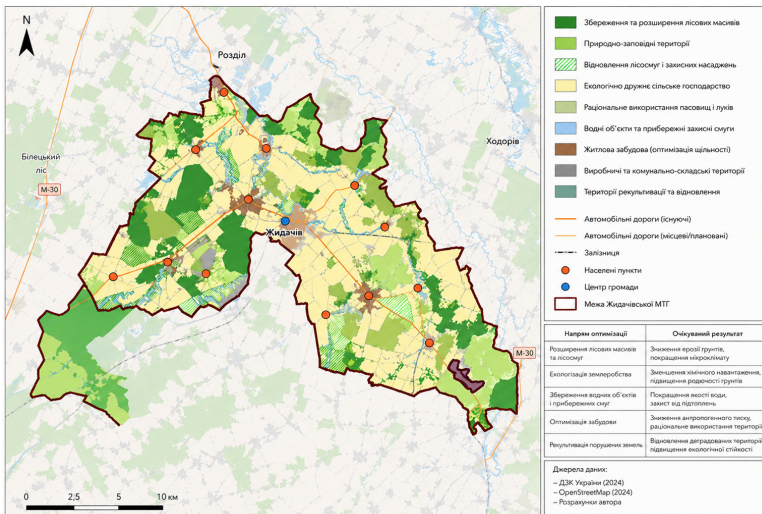


Рис. 5. Сценарій оптимізації землекористування

чення показника становить близько 1,09, що відповідає середньому рівню навантаження. Найнижче антропогенне навантаження характерне для Бережницького округу ( $\approx 1,03$ ), що пояснюється більшою часткою природних екосистем.

Середнє значення коефіцієнта антропогенного навантаження для території громади становить близько 1,19, що відповідає помірно високому рівню трансформації ландшафтів. Поєднання показників екологічної стабільності та антропогенного навантаження дозволило здійснити інтегральну оцінку екологічного стану території та виділити функціональні зони. До відносно оптимальних територій віднесено Бережницький округ та частково Млиниський, де поєднуються вищі значення Кес і нижчі значення Кан. Перехідні зони представлені Вільховецьким і Зарічанським округами, які потребують оптимізації структури землекористування. Найбільш кризовою територією є м. Жидачів, де низька екологічна стабільність поєднується з високим антропогенним навантаженням.

З метою покращення екологічного стану території було розроблено сценарій оптимізації структури землекористування, який передбачає збільшення площ лісів на 1200 га, розширення площ сіножатей і пасовищ на 1000 га, зменшення площ ріллі на 1800 га, а також рекультивуацію порушених земель. Реалізація зазначених заходів забезпечує зростання коефіцієнта екологічної стабільності з 0,40 до 0,55, що відповідає підвищенню на 37,5 %, та зниження антропогенного навантаження з 1,19 до 1,02 (на 14,3 %).

Просторовий аналіз прогнозного стану території свідчить про суттєве

покращення її екологічної структури. Після оптимізації всі старостинські округи переходять до категорії середньої та високої екологічної стабільності, формується цілісний екологічний каркас, зменшується фрагментація природних ландшафтів та покращується екологічна зв'язність території. Це створює передумови для підвищення біорізноманіття та стійкості території до антропогенних і природних впливів.

### ***Висновки і перспективи подальших досліджень***

Проведений картографічний аналіз підтверджує, що сучасна структура землекористування Жидачівської МТГ є екологічно незбалансованою. Водночас результати сценарного моделювання доводять можливість переходу території до сталого типу розвитку за умови впровадження науково обґрунтованих заходів оптимізації землекористування.

Подальші дослідження доцільно спрямувати на вдосконалення методів інтегрованої оцінки землекористування із залученням високодетальних даних дистанційного зондування та БПЛА, розширення системи екологічних індикаторів і врахування кліматичних чинників. Перспективним є застосування багатокритеріального аналізу та методів машинного навчання для підвищення точності просторового моделювання і прогнозування змін екологічного стану територій. Важливим напрямом є розроблення сценаріїв оптимізації землекористування з урахуванням ризиків деградації земель, урбанізаційного тиску та потреб просторового планування, а також впровадження результатів досліджень у системи підтримки при-

йняття управлінських рішень на рівні територіальних громад.

---

### Список використаної літератури

1. Дорогунцов С. І. Екологічні основи землекористування. Київ : КНЕУ, 2003. 256 с.
2. Третяк А. М. Землеустрій в Україні: теорія, методологія. Київ : Аграрна наука, 2012. 312 с.
3. Дребот О. І. Стале землекористування: теорія та практика. Київ : ННЦ ІАЕ, 2015. 280 с.
4. Шищенко П. Г. Прикладна геоecологія. Київ : Либідь, 1999. 320 с.
5. Кучер О. В. Екологічна оцінка земельних ресурсів. Львів : Світ, 2010. 210 с.
6. Malczewski J. GIS-based multicriteria decision analysis. New York : Wiley, 1999. 392 p.
7. Malczewski J. Multicriteria decision analysis in geographic information science. *International Journal of Geographical Information Science*. 2006. Vol. 20, No. 7. P. 703–726.
8. Burrough P. A., McDonnell R. A. Principles of geographical information systems. Oxford : Oxford University Press, 1998. 333 p.
9. Goodchild M. F. Geographical information science. *International Journal of Geographical Information Systems*. 1992. Vol. 6, No. 1. P. 31–45.
10. Saaty T. L. Decision making with the analytic hierarchy process. *International Journal of Services Sciences*. 2008. Vol. 1, No. 1. P. 83–98.
11. Liu Y., Wang J., Long H. Analysis of land use transitions and their ecological effects. *Land Use Policy*. 2020. Vol. 95.
12. Zhang X., Chen Y., Li B. Remote sensing-based analysis of land use and ecological risk. *Ecological Indicators*. 2021. Vol. 122.
13. Rahman M. M., Szabó G. et al. GIS-based multi-criteria decision analysis for land suitability. *Sustainability*. 2021. Vol. 13, No. 6.

14. Wang J., Li X., Liu Z. Spatial optimization of land use based on ecological constraints. *Science of the Total Environment*. 2022. Vol. 806.
15. Chen W., Chi G., Li J. Integrated assessment of land use sustainability. *Ecological Indicators*. 2023. Vol. 147.
16. Li Y., Fang F., Song J. Coupling human activity and ecological environment. *Journal of Environmental Management*. 2024. Vol. 340.

---

### References

1. Dorohuntsov, S. I. (2003). *Ekolohichni osnovy zemlekorystuvannya* [Ecological foundations of land use]. Kyiv: KNEU, 256.
2. Tretiak, A. M. (2012). *Zemleustrii v Ukraini: teoriia, metodolohiia* [Land management in Ukraine: Theory and methodology]. Kyiv: Ahrarna nauka, 312.
3. Drebot, O. I. (2015). *Stale zemlekorystuvannya: teoriia ta praktyka* [Sustainable land use: Theory and practice]. Kyiv: NNTs IAE, 280.
4. Shyshchenko, P. H. (1999). *Prykladna heoekolohiia* [Applied geocology]. Kyiv: Lybid, 320.
5. Kucher, O. V. (2010). *Ekolohichna otsinka zemelnykh resursiv* [Ecological assessment of land resources]. Lviv: Svit, 210.
6. Malczewski, J. (1999). *GIS-based multicriteria decision analysis*. New York: Wiley, 392.
7. Malczewski, J. (2006). *Multicriteria decision analysis in geographic information science*. *International Journal of Geographical Information Science*, 20(7), 703–726.
8. Burrough, P. A., & McDonnell, R. A. (1998). *Principles of geographical information systems*. Oxford: Oxford University Press, 333.
9. Goodchild, M. F. (1992). *Geographical information science*. *International Journal of Geographical Information Systems*, 6(1), 31–45.
10. Saaty, T. L. (2008). *Decision making with the analytic hierarchy process*. *International*

- Journal of Services Sciences*, 1(1), 83–98.
11. Liu, Y., Wang, J., & Long, H. (2020). Analysis of land use transitions and their ecological effects. *Land Use Policy*, 95.
  12. Zhang, X., Chen, Y., & Li, B. (2021). Remote sensing-based analysis of land use and ecological risk. *Ecological Indicators*, 122.
  13. Rahman, M. M., Szabó, G., et al. (2021). GIS-based multi-criteria decision analysis for land suitability. *Sustainability*, 13(6).
  14. Wang, J., Li, X., & Liu, Z. (2022). Spatial optimization of land use based on ecological constraints. *Science of the Total Environment*, 806.
  15. Chen, W., Chi, G., & Li, J. (2023). Integrated assessment of land use sustainability. *Ecological Indicators*, 147.
  16. Li, Y., Fang, F., & Song, J. (2024). Coupling human activity and ecological environment. *Journal of Environmental Management*, 340.
- 

**Pyrih A.**

**ANALYSIS OF CARTOGRAPHIC MODELS OF ECOLOGICAL STABILITY AND ANTHROPOGENIC LOAD OF THE ZHYDACHIV URBAN TERRITORIAL COMMUNITY LAND MANAGEMENT, CADASTRE AND LAND MONITORING 2'26: 179-190.**

<http://dx.doi.org/10.31548/zemleustriy2026.02.12>

**Abstract.** The article substantiates a methodological approach to the assessment and optimization of land use in territorial communities based on the integration of geoinformation analysis, environmental indicators, and cartographic modeling. The study was conducted using the example of the Zhydachiv urban territorial community, for which the current land-use structure was analyzed and the dominance of arable land (about 45%) was identified, leading to an increased level of anthropogenic pressure and reduced ecological stability of the territory.

A comprehensive assessment of the environmental condition was carried out using coefficients of ecological stability, anthropogenic load, and an integral indicator, which made it possible to quantitatively and spatially characterize the level of landscape transformation. Spatial differentiation of the ecological condition of the territory was revealed, and zones with different levels of environmental tension were identified, in particular central urbanized areas as hotspots of increased pressure and peripheral areas as zones of relative stabilization.

A series of cartographic models was developed to reflect the land-use structure, the level of anthropogenic impact, and the integral ecological condition, which allowed for identifying spatial patterns of territorial transformation. A land-use optimization scenario is proposed, aimed at increasing the area of natural land, reducing plowing intensity, and forming an ecological framework. The obtained results can be used to support decision-making in the field of rational land use and to ensure the sustainable development of territorial communities.

**Keywords:** land use; territorial community; ecological stability; anthropogenic load; cartographic modeling; GIS; integrated indicator; land use optimization; sustainable development

---