

ЗЕМЛЕУСТРІЙ, КАДАСТР І МОНІТОРИНГ ЗЕМЕЛЬ

науково-виробничий журнал

№4 (2025)

щоквартальник

ДО УВАГИ АВТОРІВ!

Вимоги до розміщення статті в журналі та на сайті журналу:

- назва статті;
- ім'я та прізвище автора (авторів);
- анотація – 3-6 речень;
- чітка постановка проблеми;
- стислі, але зрозуміло викладені результати інших дослідників;
- мета 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); анотації на 3-6 речень 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 порядковим 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 загальноприйнятим 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 докторів і кандидатів 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, Journal-TOCs, 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 № 11 від 22 травня 2025 року).

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ

ГОЛОВНИЙ РЕДАКТОР

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

ЗАСТУПНИКИ ГОЛОВНОГО РЕДАКТОРА

Ковальчук Іван, д. геогр. н., проф.

Третяк Антон, д. е. н., проф., чл.-кор. НААН

Кохан Світлана, д. техн. н., проф.

ВІДПОВІДАЛЬНИЙ СЕКРЕТАР

Бутенко Євген, к. е. н., доц.

ЧЛЕНИ КОЛЕГІЇ

Андрейчук В'ячеслав, д. геол.-мінер. н., проф. (Польща)

Бабінські Зигмунт, д. геогр. н., проф. (Польща)

Бортник Сергій, д. геогр. н., проф.

Добряк Дмитро, д. е. н., проф., чл.-кор. НААН

Дорош Ольга, д. е. н., проф.

Євсюков Тарас, д. е. н., проф.

Жуков Олександр, д.б.н., проф.

Запотоцький Сергій, д. геогр. н., проф.

Кемпа Ольгерд, д. техн. н. (Польща)

Ковальчук Володимир, д. техн. н., с.н.с.

Ковальчук Павло, д. техн. н., проф.

Курильців Роман, д. е. н., проф.

Левінські Станіслав, д. техн. н., проф. (Польща)

Мартин Андрій, д. е. н., проф., чл.-кор. НААН

Новоковський Леонід, д. е. н., проф., акад. НААН

Позняк Степан, д. геогр. н., проф.

Ровенчак Іван, д. геогр. н., проф.

Третяк Валентина, д. е. н., проф.

Харитонов Микола, д.с.-г. н., проф.

Хвесик Михайло, д. е. н., проф., акад. НААН

Шкуратов Олексій, д. е. н., проф.

АДРЕСА РЕДАКЦІЇ

Видавець НУБІП України,
вул. Героїв Оборони, 15, м. Київ, 03041.
Свід. ДК № 4097 від 17.06.2011.

МАКЕТ, ВЕРСТКА ТА ДРУК

Підписано до друку 26.06.25 року.
Формат 70х100/16 Умовн. друк. арк.: 8,5
Папір офсетний. Друк цифровий.
Гарнітура Times New Roman.
Наклад 100 прим. Зам. №26003&

При передруку постановля 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.

© Землеустрій, кадастр і моніторинг земель, 2025

ЗМІСТ

ЕКОНОМІКА. УПРАВЛІННЯ ЗЕМЕЛЬНИМИ РЕСУРСАМИ ТА ЗЕМЛЕУСТРІЙ

Й. М. Дорош, Ш. І. Ібатуллін, О. В. Сакаль, В. Є. Крупін, Р. А. Харитоненко, Р. Ю. Деркульський ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ІНСТИТУЦІЙНИХ ЗМІН У ЗЕМЛЕУСТРОЇ В УМОВАХ ЄВРОІНТЕГРАЦІЇ УКРАЇНИ, ПРАВОВОГО РЕЖИМУ ВОЄННОГО СТАНУ І ДЛЯ ЦІЛЕЙ ПОВОЄННОГО ВІДНОВЛЕННЯ	4
А. Г. Мартин, Л. А. Гунько, С. С. Замлинський ДО ПИТАННЯ ПРО СУЧАСНУ ТЕОРІЮ ЗЕМЛЕУСТРОЮ	19
А. Ю. Гордєєв, Л. В. Плічко КАДАСТР НЕРУХОМОСТІ В УКРАЇНІ	43

ЕКОНОМІКА ТА ЕКОЛОГІЯ ЗЕМЛЕКОРИСТУВАННЯ

І. П. Купріянич ВПЛИВ ЗМІНИ КЛІМАТУ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИРОЩУВАННЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР У РІВНЕНСЬКІЙ ОБЛАСТІ	60
О. П. Панасюк, В. С. Костюк ЕФЕКТИВНІСТЬ БІОМЕЛІОРАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ У ВІДНОВЛЕННІ ТА ПІДВИЩЕННІ РОДЮЧОСТІ ДЕГРАДОВАНИХ ҐРУНТІВ	70

ГЕОДЕЗІЯ ТА ЗЕМЛЕУСТРІЙ. ТОПОГРАФО-ГЕОДЕЗИЧНЕ І КАРТОГРАФІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЗЕМЛЕВПОРЯДКУВАННЯ

І. П. Ковальчук, М. С. Кожем'яко, П. С. Кожем'яко, О. О. Куценко, Д. Ю. Матвійчук ЛАЗЕРНЕ СКАНУВАННЯ І СТВОРЕННЯ ВІМ МОДЕЛІ КОРПУСУ № 1 НТУУ «КПІ ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО» ЯК МЕТОД ВІЗУАЛІЗАЦІЇ ІСТОРИКО- АРХІТЕКТУРНОЇ СПАДЩИНИ	82
О. С. Малашук, Т. В. Мовчан, Т. А. Рожі ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ЕВОЛЮЦІЇ ЕЛЕКТРОННИХ ГЕОДЕЗИЧНИХ ПРИЛАДІВ: КОНЦЕПТУАЛЬНІ ЗАСАДИ ІНТЕГРАЦІЇ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ В СИСТЕМИ ПРОСТОРОВОГО УПРАВЛІННЯ ТА ГЕОІНФОРМАЦІЙНОГО СЕРЕДОВИЩА	95

НАУКИ ПРО ЗЕМЛЮ. ГЕОІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ МОДЕЛЮВАННЯ СТАНУ ГЕОСИСТЕМ

А. О. Кошель, Б. І. Денисюк, А. М. Полтавець АЛГОРИТМ ВИКОРИСТАННЯ ГЕОІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ З МЕТОЮ ГЕОЕКОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ ТЕРИТОРІАЛЬНИХ ГРОМАД	108
Є. В. Дорожко, І. О. Удовенко ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ЕЛЕКТРОННИХ ГЕОДЕЗИЧНИХ СИСТЕМАХ ПУБЛІЧНОГО ПРОСТОРОВОГО УПРАВЛІННЯ: ЕВОЛЮЦІЯ ВІД АВТОМАТИЗАЦІЇ ДО ЦИФРОВО-ЕТИЧНИХ СТАНДАРТІВ	117
А. О. Кошель, І. Г. Колганова, А. М. Полтавець, В. О. Юхимюк МОБІЛЬНИЙ LiDAR, ГЕОІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА КРАУДСОРСИНГ У ФІКСАЦІЇ Й ЗБЕРЕЖЕННІ ОБ'ЄКТІВ ІСТОРИКО-КУЛЬТУРНОЇ СПАДЩИНИ ТЕРИТОРІАЛЬНИХ ГРОМАД	130

CONTENTS

ECONOMICS. LAND MANAGEMENT AND LAND PLANNING

Y. Dorosh, Sh. Ibatullin, O. Sakal, V. Krupin, R. Kharytonenko, R. Derkul'skyi THEORETICAL FOUNDATIONS OF INSTITUTIONAL CHANGE IN LAND MANAGEMENT UNDER CONDITIONS OF UKRAINE'S EUROPEAN INTEGRATION, THE LEGAL REGIME OF MARTIAL LAW, AND FOR THE PURPOSES OF POST-WAR RECOVERY	4
A. Martyn, L. Hunko, S. Zamlynskiy TOWARDS A CONTEMPORARY THEORY OF LAND MANAGEMENT	19
A. Gordieiev, L. Plichko REAL ESTATE CADASTRE IN UKRAINE	43

ECONOMICS AND ECOLOGY OF LAND USE

I. Kupriianchuk THE IMPACT OF CLIMATE CHANGE ON THE EFFICIENCY OF AGRICULTURAL CROP CULTIVATION IN RIVNE REGION	60
O. Panasiuk, V. Kostyuk THE EFFECTIVENESS OF BIO-MELIORATION TECHNOLOGIES IN RESTORING AND IMPROVING THE FERTILITY OF DEGRADED SOILS	70

GEODESY AND LAND MANAGEMENT. TOPOGRAPHIC AND GEODETIC AND CARTOGRAPHIC SUPPORT IN LAND MANAGEMENT

I. Kovalchuk, M. Kozhemiako, P. Kozhemiako, O. Kutsenko, D. Matviichuk LASER SCANNING AND CREATION OF A BIM MODEL OF THE BUILDING No. 1 NTUU "IGOR SIKORSKY KPI" AS A METHOD OF VISUALIZING HISTORICAL AND ARCHITECTURAL HERITAGE	82
O. Malashchuk, T. Movchan, T. Rozhi INTELLIGENT TECHNOLOGIES IN THE EVOLUTION OF ELECTRONIC GEODETIC INSTRUMENTS: CONCEPTUAL BASIS FOR THE INTEGRATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE INTO SPATIAL MANAGEMENT SYSTEMS AND GEOINFORMATION ENVIRONMENTS	95

EARTH SCIENCES. GEOINFORMATION TECHNOLOGIES FOR MODELING THE STATE OF GEOSYSTEMS

A. Koshel, B. Denysiuk, A. Poltavets ALGORITHM FOR THE USE OF GEOINFORMATION TECHNOLOGIES FOR THE PURPOSE OF GEOECOLOGICAL MONITORING OF TERRITORIAL COMMUNITIES	108
Ye. Dorozhko, I. Udovenko INTELLIGENT TECHNOLOGIES IN ELECTRONIC GEODETIC SYSTEMS FOR PUBLIC SPATIAL MANAGEMENT: EVOLUTION FROM AUTOMATION TO DIGITAL ETHICAL STANDARDS	117
A. Koshel, I. Kolganova, A. Poltavets, V. Yukhymyuk MOBILE LIDAR, GEOINFORMATION TECHNOLOGIES AND CROWDSOURCING FOR THE DOCUMENTATION AND PRESERVATION OF CULTURAL HERITAGE OBJECTS IN TERRITORIAL COMMUNITIES	130

ЕКОНОМІКА. УПРАВЛІННЯ ЗЕМЕЛЬНИМИ РЕСУРСАМИ ТА ЗЕМЛЕУСТРІЙ

УДК 332.3:351:342.7:341.24(4)

<http://dx.doi.org/10.31548/zemleustriy2025.04.01>

ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ІНСТИТУЦІЙНИХ ЗМІН У ЗЕМЛЕУСТРОЇ В УМОВАХ ЄВРОІНТЕГРАЦІЇ УКРАЇНИ, ПРАВОВОГО РЕЖИМУ ВОЄННОГО СТАНУ І ДЛЯ ЦІЛЕЙ ПОВОЄННОГО ВІДНОВЛЕННЯ

Й. М. ДОРОШ,

доктор економічних наук, професор, академік НААН,

Email: landukrainenaas@gmail.com,

ORCID: 0000-0002-1764-6188,

Інститут землекористування Національної академії аграрних наук України

Ш. І. ІБАТУЛЛІН,

доктор економічних наук, професор, академік НААН,

Email: shamilibatullin@gmail.com,

ORCID: 0000-0002-4032-6182,

Інститут землекористування Національної академії аграрних наук України,

Інститут розвитку села та сільського господарства Польської

академії наук (IRWiR PAN)

О. В. САКАЛЬ,

доктор економічних наук, старший науковий співробітник,

Email: o_sakal@ukr.net,

ORCID: 0000-0001-8803-1298,

Інститут землекористування Національної академії аграрних наук України,

Інститут розвитку села та сільського господарства Польської

академії наук (IRWiR PAN)

В. Є. КРУПІН,

кандидат економічних наук, ад'юнкт,

Email: vkrupin@irwirpan.waw.pl,

ORCID: 0000-0002-7388-6813,

Інститут розвитку села та сільського господарства Польської

академії наук (IRWiR PAN)

Р. А. ХАРИТОНЕНКО,

кандидат економічних наук,
Email: kharytonenkor@gmail.com,
ORCID: 0000-0002-7992-3339,

Інститут землекористування Національної академії аграрних наук України

Р. Ю. ДЕРКУЛЬСЬКИЙ,

кандидат економічних наук,
Email: romderk@ukr.net,
ORCID: 0000-0002-7244-3906

Інститут землекористування Національної академії аграрних наук України

Анотація. Трансформація земельного законодавства України у зв'язку інтеграцією у ЄС суттєво ускладнюється правовим режимом воєнного стану, а також потребує врахування, окрім іншого, задач і пріоритизації повоєнної відбудови країни. У зв'язку з цим відбуваються інституційні зміни – процеси земельної реформи і модернізації земельного законодавства, що покликані покращити управління земельними ресурсами та пом'якшити весь спектр ризиків у цій сфері. Проте ці процеси не мають єдиної методологічної основи, що ставить під загрозу їх успіх.

Ця стаття присвячена обґрунтуванню теоретичних основ інституційних змін у сфері управління земельними ресурсами відповідно до підходу теорії змін з використанням рамкової концепції розвитку на місцевому рівні та інтегрованого підходу, заснованого на правах людини (зокрема, праві на доступ до землі). Для виявлення ключових точок інституційних змін дослідження передбачало аналіз визначальних вимог права ЄС щодо земель, вивчення національного земельного законодавства і впливу на нього правового режиму воєнного стану, потреб і цілей повоєнної відбудови.

Доведено, що правовий режим воєнного стану в Україні суттєво впливає на інституційні зміни та інституційне забезпечення землеустрою, зумовлюючи необхідність тимчасового коригування правових та організаційних механізмів управління земельними ресурсами. Обґрунтовано, що в період післявоєнного відновлення інституційні зміни у сфері землеустрою стають критично важливими та фундаментальними для ефективного управління земельними ресурсами й гарантування продовольчої, технологічної та економічної безпеки, доступу до землі. Основні виклики включають відновлення зруйнованої інфраструктури, розмінування і повернення земель у господарське використання. Тоді як розробка стратегічного плану розвитку сільського господарства, узгодженого з європейськими принципами та Спільною аграрною політикою ЄС, є можливостями вдосконалення системи механізму землеустрою.

Наявність міцної та цілісної теоретико-методологічної бази інституційних змін у сфері землеустрою та управління земельними ресурсами в Україні дасть змогу здійснювати стратегічне планування трансформацій, забезпечуючи узгодження та моніторинг цілей і результатів як на рівні ЄС, так і на національному рівні у поточному періоді, а також під час вирішення післявоєнних викликів стосовно використання земель і розвитку сільського господарства.

Ключові слова: *землеустрій, управління земельними ресурсами, інституційні зміни, теорія змін, євроінтеграція, воєнний стан, післявоєнне відновлення, право на землю, продовольча безпека.*

Постановка проблеми

Трансформація системи землеустрою в Україні відбувається в умовах безпрецедентного поєднання викликів, коли інтеграція до правового простору Європейського Союзу (ЄС) накладається на реалії воєнного стану та завдання майбутнього відновлення країни. Кожен із цих контекстів висуває специфічні вимоги до інституційної архітектури управління земельними ресурсами: євроінтеграція вимагає гармонізації законодавства з *acquis* ЄС та імплементації стандартів і норм сталого землекористування, воєнний стан потребує оперативних механізмів захисту та відновлення земельного фонду, а повоєнна відбудова ставить завдання формування принципово нових підходів до просторового планування та землепорядкування, а отже, регулювання земельних відносин.

Наукові дослідження інституційних трансформацій у сфері земельних відносин традиційно фокусувалися на окремих аспектах реформування: децентралізації повноважень, ринкових механізмах обігу земельних ділянок, або технологічній модернізації кадастрових систем [1, 2, 3]. Проте комплексний концептуальний підхід до обґрунтування інституційного забезпечення землеустрою, трансформації механізмів землеустрою до вимог сучасності, який би інтегрував виклики євроінтеграції з особливостями функціонування системи в умовах воєнного стану та стратегічними цілями відновлення, та виходячи із

права селян та інших людей, які працюють у сільській місцевості, на землю та інші природні ресурси [4], залишається недостатньо розробленим.

Повномасштабна воєнна агресія проти України спричинила масштабні втрати земельних ресурсів: за оцінками, близько 21 % сільськогосподарських угідь зазнали прямого або опосередкованого впливу бойових дій, значні території потребують розмінування, а деградація ґрунтів набула критичних масштабів через забруднення важкими металами, вибуховими речовинами та нафтопродуктами [5, 6, 7]. Правовий режим воєнного стану обумовив зміни в процедурах прийняття рішень щодо використання земель, що супроводжується деякими обмеженнями в доступі до інформації та призупиненні окремих механізмів землепорядкування. Водночас євроінтеграційний порядок денний України передбачає поступову трансформацію національної системи управління земельними ресурсами відповідно до європейських принципів, прагнучи сформувати прозору, екологічно відповідальну систему, із залученням громадськості до прийняття рішень.

На сьогодні залишається не розробленою концептуальна модель інституційних змін, яка б системно узгоджувала окреслені вище три виміри трансформацій: адаптацію до європейських стандартів, норм і правил, забезпечення функціональності системи землеустрою в умовах воєнного стану та формування засад для ефективного повоєнного віднов-

лення земельного капіталу України. Розвиток теорії і вітчизняної практики землеустрою потребує нових теоретико-методологічних засад, що враховують сучасні реалії усіх зрізів національної безпеки та прагнення й відповідні зобов'язання євроінтеграції. Існуючі теоретичні розробки не пропонують дієвих механізмів для системного вирішення цих взаємопов'язаних завдань, що створює ризики подальшої фрагментарності реформ і неузгодженості інституційних змін на різних рівнях управління земельними ресурсами. Особливо гостро це проявляється на рівні територіальних громад, які отримали розширені повноваження щодо володіння, користування та розпорядження землею унаслідок реформи децентралізації, проте не мають достатньої інформаційної, методологічної і методичної бази для їх реалізації в умовах, що склалися.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Не зважаючи на численні публікації насамперед українських дослідників, у фокусі їх уваги переважає один із досліджуваних вимірів інституційних змін щодо регулювання земельних відносин та/або сфери землеустрою. Так, потребу вдосконалення державного управління земельними ресурсами, зокрема в частині формування національної інформаційної системи, в умовах євроінтеграції українського суспільства ідентифіковано дослідниками ще в публікаціях до 2022 р., зокрема [8].

Богіра М. [9], відзначаючи наслідки воєнного стану для земельних відносин, наголошує на потребі вдосконалення управлінсько-регуля-

торної політики. Також він вказує на необхідність кардинальної зміни підходу держави до охорони земель [10]. Особливості, основні проблеми виконання робіт із землеустрою в період дії воєнного стану, чинники, що їх зумовлюють – технічні, юридичні, організаційні економічні – висвітлено в статті [11]. У пропозиціях цього дослідження визначено суб'єктів та їх права, які підлягають регулюванню під час дії воєнного або надзвичайного стану. На екологічних аспектах правового регулювання земельних відносин у період воєнного стану акцентує Саєнко Ю. [12], порушуючи питання оцінки збитків і методів відновлення, а також вказуючи на необхідність подальших досліджень методологій оцінки впливу.

Третьяком А. та ін. 2021 [13] відзначено, що розв'язанню інституційних засад проблеми землеустрою та землевпорядкування здатна сприяти новітня інституціонально-поведінкова економічна теорія. У зв'язку з чим дослідниками визначено й інституційні складові побудови та розвитку системи землевпорядкування. У рамках дослідження інституційних засад управління земельними ресурсами в Україні з акцентом на створенні більш стійкої та гнучкої системи для реагування на майбутні виклики у статті [14] виокремлено ключові напрями політики, зокрема відновлення ринку земель, гарантування продовольчої безпеки та підтримку територіальних громад.

Гурський В. [15] щодо земельної реформи в Україні, метою якої є підвищення ефективності управління земельними ресурсами та встановлення критеріїв права власності, вказує, що майбутні дослідження повинні інтегрувати мультидисциплінарний

підхід для забезпечення ефективного регулювання в період війни та повоєнного відновлення.

Білик О. [16] зосереджується на з'ясуванні проблем та визначенні напрямів реформування і регулювання, необхідних для забезпечення сталого розвитку та ефективного використання земельних ресурсів, вказуючи на недостатню ефективність контролюючих механізмів і впливу міжнародних правил на вітчизняне земельне нормативно-правове забезпечення. Нагальну потребу у систематизації, коригуванні та гармонізації земельного законодавства відповідно до вимог євроінтеграції встановлено в статті [17].

Не зважаючи на те, що, зокрема, у дослідженні [18] обґрунтовано зміни в державній політиці, спрямовані на формування інституційної моделі фінансового забезпечення реалізації прав селян на землю в контексті євроінтеграції, а в статті [19] на основі аналізу аграрного та земельного законодавства визначено проблеми в сфері реалізації права селян на землю, акцентовано на правовому статусі виробників сільськогосподарської продукції різних організаційно-правових форм, поза дослідницькою увагою залишається застосування заснованого на правах людини інтегрованого підходу у землеустрої. Цей підхід є критично важливим в умовах євроінтеграції України, воєнного стану і для цілей післявоєнного відновлення, забезпечуючи фізичну організацію простору та впровадження інституційних і правових змін, доступ до землі, досягнення політичних цілей щодо багатофункціонального розвитку сільських територій, продовольчої безпеки.

Мета дослідження – обґрунтування теоретичних основ інститу-

ційних змін у землеустрої в умовах європейської інтеграції України, правового режиму воєнного стану та вимог повоєнного відновлення, ґрунтуючись на основі теорії змін, концепції прав людини на доступ до землі та рамковій концепції розвитку на місцевому рівні.

Матеріали і методи дослідження

Застосовано інституційний аналіз для дослідження формальних і неформальних правил функціонування системи землеустрою, а також системний підхід для вивчення структурно-елементного змісту його інституційного забезпечення. Порівняльно-правовий метод використано для зіставлення вітчизняних та європейських підходів до регулювання земельних відносин і визначення шляхів гармонізації законодавства України з *acquis* ЄС. Структурно-функціональний аналіз застосовано для визначення ролі територіальних громад у процесах управління земельними ресурсами в контексті децентралізації. На основі методів теоретичного узагальнення сформульовано висновки щодо перспектив інституційних змін у землеустрої в період післявоєнного відновлення України.

Результати дослідження та їх обговорення

Інституційні зміни, згідно з підходом теорії змін (анг. *theory of change*), являють собою процес трансформації фундаментальних правил, норм, процедур і структур, що визначають поведінку організацій та суспільства загалом. Теорія змін зосереджується



Рисунок 1 – Рамкова концепція розвитку на місцевому рівні
(*The Grassroots Development Framework*)

Джерело: [23], уточнено й адаптовано авторами.

на аналізі механізмів і причин змін, а також на розробці послідовності дій, спрямованих на досягнення конкретних цілей і результатів [20, 21, 22]. Модель змін, згодом розвинена і трансформована різними авторами, сформульовано як рамкову концепцію розвитку на місцевому рівні (англ. the Grassroots Development Framework (GDF)) у дослідженнях фонду Inter-American Foundation (рис. 1) [23].

Представлена на рис. 1 модель рамкової концепції розвитку на місцевому рівні у частині ідентифікації й оцінки впливів може слугувати для обґрунтування теоретичних основ інституційні змін і структурно-елементного змісту інституційного забезпечення землеустрою в умовах європейської інтеграції України, враховуючи перспективи розвитку місцевого самоврядування та його повноважень щодо земель, а також для максимального охоплення відповідними заходами локальних проблем, пов'язаних із землекористуванням.

У контексті інституційних змін у землеустрої цей підхід передбачає систематичний аналіз і планування

перетворень, що мають на меті сталий позитивний вплив на управління земельними ресурсами, а з урахуванням правового режиму воєнного стану і необхідності післявоєнного відновлення – охорону земель. Такі зміни спрямовані на збереження родючості ґрунтів, зниження рівня деградації земель, раціональне використання територій і мінімізацію негативного впливу на екосистеми. Зокрема, земельна реформа й модернізація земельного законодавства в умовах євроінтеграції України може розглядатися як інституційна зміна, що не лише покращує управління земельними ресурсами, але й знижує весь спектр ризиків у сфері землеустрою.

Інституційні зміни у землеустрої, ґрунтуючись на GDF, передбачають структурну інтеграцію, адже рамкова концепція розвитку на місцевому рівні враховує одночасно матеріальні (ресурси, організаційні можливості) та нематеріальні (норми, цінності, відносини) чинники і впливи, що робить її адаптивною до різних соціально-економічних контекстів мо-

дернізації. Це важливо в сучасних умовах в Україні, коли реформування земельних відносин і землекористування потребує гнучкого підходу для інтеграції громадських і державних інтересів, індивідуального і колективного прояву права землю та інші природні ресурси, включаючи право на доступ, раціональне використання та ін., відповідно до Декларації ООН про права селян та інших людей, які працюють у сільській місцевості [4].

Стаття 48 Закону України «Про землеустрій» (2003) передбачає, що при плануванні використання та охорони земель, схем землеустрою адміністративно-територіальних одиниць мають бути враховані як локальні екологічні, так і економічні потреби. GDF допомагає структурувати цей процес, що особливо важливо для територіальних громад, які отримали нові повноваження у сфері управління земельними ресурсами. Зокрема, інтеграція суспільних норм у проекти землеустрою покликано сприяти формуванню стійких локальних економік, що відповідає Концепції реформування місцевого самоврядування та територіальної організації влади в Україні (2014), спрямованій на зміну моделі управління державою для забезпечення більшої самостійності місцевих громад.

Одна з ключових цілей GDF – посилення соціальної згуртованості через розвиток місцевих громад. Відповідно до статті 461 Закону України «Про землеустрій» (2003) встановлення меж територій територіальних громад передбачає розробку проектів, які враховують як сучасні, так і майбутні потреби мешканців громад. Такий підхід забезпечує ефективне землекористування, сприяє розвитку місцевої інфраструктури та залучен-

ню інвестицій, і, що важливо – врахування історико-культурних особливостей, які підвищують рівень довіри до управлінських рішень. Теорія змін у цьому контексті підкреслює значення суспільних цінностей і відносин, що особливо актуально для сільських громад, які прагнуть і володіють потенціалом збереження культурної спадщини в умовах трансформацій (модернізації економіки).

Теорія змін і GDF забезпечують організаційну спроможність інституційних змін у землеустрої, що відповідає статті 491 Закону України «Про землеустрій» (2003), яка регламентує механізми організації територій земельних часток (паїв) через координацію роботи землевпорядних організацій і місцевої влади. Ефективне планування землекористування передбачає створення прозорих процедур, що сприяють залученню громадян – землевласників до прийняття рішень, гарантуючи права на землю як чинник дотримання громадянських прав. Такі проекти землеустрою щодо організації території земельних часток (паїв) мають передбачати інтеграцію ресурсів і налагодження зв'язків між різними рівнями управління.

Природоохоронний (екологічний) контекст інституційних змін у землеустрої на основі теорії змін і GDF означає врахування довгострокових наслідків рішень щодо землекористування. Зазначене підтверджується нормою статті 52 Закону України «Про землеустрій» (2003), яка акцентує на еколого-економічному обґрунтуванні сівозміни та впорядкування угідь, які, зокрема, сприяють збереженню родючості ґрунтів і біорізноманіття. Таким чином забезпечується інтеграція екологічної свідомості

Таблиця 1 – Перспектива та механізм урахування місцевих цінностей, традицій і соціальних потреб при землеустрої

Перспектива	Механізм	Підстава
Прямі вимоги до громадської участі	Реалізується через громадські обговорення та консультації у процесі землеустрою	Закон України «Про землеустрій» (стаття 461)
Принципи децентралізації	Набуття і реалізація права на землю територіальними громадами	Закон України «Про місцеве самоврядування», Земельний кодекс України (статті 117, 122, 123)
Соціальні та культурні чинники	Урахування потреб і цінностей місцевих спільнот під час розробки нормативно-правових актів органів місцевого самоврядування, які приймаються на основі та на виконання Конституції України та (або) законів, чинних міжнародних договорів України і є обов'язковими до виконання на території відповідної адміністративно-територіальної одиниці (територіальної громади)	Закон України «Про правотворчу діяльність» (статті 4, 19)
Еколого-економічні цілі	Землеустрій на місцевому рівні: розроблення проєктів землеустрою, що забезпечують еколого-економічне обґрунтування сівозміни та впорядкування угідь, впорядкування територій населених пунктів і т. ін.	Закон України «Про землеустрій» (розділ V)

Джерело: розроблено авторами.

й принципів екологічної політики у практику управління землевласниками та/або землекористувачами.

Інституційні зміни у землеустрої ґрунтуються на впровадженні кращих практик та участі громад у процесах управління. Статті 58–59 Закону України «Про землеустрій» передбачають врахування інтересів різних зацікавлених сторін при здійсненні землеустрою на місцевому рівні, що відповідає принципам солідарності та автономії, на яких наголошує GDF. Такий підхід сприяє підвищенню прозорості та зменшенню ризиків у механізмі землеустрою, підвищуючи рівень довіри до влади. Крім того, це дає можливість забезпечити баланс між державними інтересами та правами землевласників та/або землекористувачів, селян, громадян загалом, сприяючи соціальній згуртованості.

Інституційні зміни у землеустрої на основі теорії змін і моделі GDF, означає врахування місцевих ціннос-

тей, традицій, та соціальних потреб при плануванні використання та охорони земель, стимулюючи економічне зростання на місцевому рівні. Адже врахування особливостей територіальної громади дає можливість оптимізувати розподіл і використання земель для потреб мешканців, бізнесу, та громадських ініціатив (табл. 1).

Вищенаведене дає підстави вважати, що структурно-елементний зміст інституційного забезпечення землеустрою в умовах євроінтеграції України охоплює систему правових, організаційних та адміністративних механізмів, спрямованих на регулювання землекористування та охорону земельних ресурсів відповідно до норм європейського права і стандартів. Важливу роль тут відіграє гармонізація національного законодавства із законодавством ЄС, що забезпечує інтеграцію, насамперед, підходів до охорони земель та екологічних стандартів. Це включає

посилення інституційної спроможності для здійснення ефективного моніторингу, впровадження відповідних технологій і забезпечення публічного доступу до інформації про стан й використання земель. Універсальну (мультигалузеву) теоретичну основу та практичні рекомендації з розробки й опрацювання законодавчих актів, спрямованих на адаптацію законодавства України до права ЄС, розроблено Дослідницькою службою Верховної Ради України (2023) [24]. При цьому Європейською Радою сформульовано Критерії вступу (т. зв. Copenhagen criteria (1993)), які є основними умовами набуття членства в ЄС країнами-кандидатами та передбачають відповідність: політичним критеріям – стабільність інститутів, що гарантують демократію, верховенство права, права людини, а також повагу до прав і захисту меншин; економічним критеріям – наявність функціонуючої ринкової економіки та здатність справлятися з конкуренцією та ринковими силами; адміністративну та інституційну спроможність – ефективне впровадження *acquis* ЄС і здатність виконувати обов'язки, пов'язані з членством [25].

Правовий режим воєнного стану в Україні суттєво впливає на інституційні зміни та інституційне забезпечення землеустрою, зумовлюючи коригування (тимчасове, на період дії такого стану) правових та організаційних механізмів управління земельними ресурсами. Відповідно до законодавства, у період воєнного стану доступ до окремих даних і процедур є обмеженим, низка процедур ухвалення рішень щодо земель різних категорій і форм власності зазнали змін.

У період післявоєнного відновлення України інституційні зміни у сфері

землеустрою стають критично важливими й основоположними для ефективного управління земельними ресурсами, забезпеченні продовольчої, техногенної та економічної безпеки. Основні виклики, але й можливості реалізації права на землю та доступу до природних ресурсів, зокрема, після втрати таких прав внаслідок війни, або отримання справедливої компенсації, при цьому становитимуть: відновлення зруйнованої інфраструктури, насамперед, сільськогосподарської, та розмінування територій і повернення земель (один із пріоритетів – сільськогосподарські угіддя) у господарське використання.

Європейська Комісія у своїх звітах про прогрес України на шляху до ЄС визначає низку вимог до сільського господарства та управління земельними ресурсами [26], зокрема, вказуючи на необхідність адаптації законодавства до вимог ЄС щодо якості, ринкових стандартів та управління сільськогосподарськими ринками, а також відзначає вимоги до державної підтримки аграріїв. ЄС також вимагає розробки стратегічного плану сільськогосподарського розвитку, що узгоджуватиметься з європейськими принципами. Це включає впровадження системи моніторингу та звітності, зокрема, Інтегрованої адміністративної системи контролю (IACS) та Системи ідентифікації земельних ділянок (LPIS), для контролю за використанням земель і дотриманням екологічних стандартів.

Висновки та пропозиції

На основі синтезу теорії змін, концепції прав людини на доступ до землі та рамкової концепції розвитку на місцевому рівні (GDF) обґрунтовано

теоретичні основи інституційних змін у землеустрої в умовах євроінтеграції України, правового режиму воєнного стану, потреб і вимог після-воєнного відновлення.

Інституційні зміни у землеустрої передбачають адаптивну структурну інтеграцію на місцевому рівні, оскільки враховують одночасно матеріальні (ресурси, організаційні можливості) та нематеріальні (норми, цінності, відносини) чинники і впливи. Це важливо вже і в поточних умовах в Україні, коли реформування земельних відносин і землекористування, землеустрою потребує гнучкого підходу для інтеграції всього спектру приватних і публічних інтересів, права землю та інші природні ресурси, включаючи право на доступ, раціональне використання та ін., відповідно до Декларації ООН про права селян та інших людей, які працюють у сільській місцевості.

У період післявоєнного відновлення України інституційні зміни у сфері землеустрою стають критично важливими й основоположними для ефективного управління земельними ресурсами, забезпеченні продовольчої, техногенної та економічної безпеки, загалом, у частині забезпечення доступу до землі. Для практичної реалізації цих змін запропоновано впровадження інструментів моніторингу та звітності, таких як IACS та LPIS.

Дослідження, результати яких представлено в статті, виконано авторами за реалізації Програми наукових досліджень НААН 38 «Забезпечення землеустрою та кадастру» («Землепорядкування»), а також виконання Ш. Ібатулінін, О. Сакаль та В. Крупнін проекту «Substantiation and measures for implementation of a

human rights-based integrated approach to rural development, food security and land policy in post-war rebuilding of Ukraine» (скор. «UAR: Rebuild Rural Ukraine»), фінансованого в рамках програми «Long-term program of support of the Ukrainian research teams at the Polish Academy of Sciences carried out in collaboration with the U.S. National Academy of Sciences with the financial support of external partners».

Декларація про генеративний штучний інтелект та технології, що використовують штучний інтелект (ШІ) у процесі написання. Автори підтверджують, що під час підготовки цього рукопису використовувався інструмент ШІ ChatGPT Plus, Claude Sonnet 4.5, Elicit для мета-пошуку релевантних наукових публікацій за темою статті, аналізу і резюмування великих текстів для попереднього ознайомлення зі змістом, перекладу й пошуку кращого варіанту стилістичної відповідності й граматики формулювань. Результати дослідження є оригінальними та отримані без допомоги ШІ.

Список використаної літератури

1. Управління земельними ресурсами та землекористуванням: базові засади теорії, інституціалізації, практики: монографія / А. М. Третяк, В. М. Третяк, Р. М. Курильців, Т. М. Прядка, Н. А. Третяк. Біла Церква: «ТОВ «Білоцерківдрук», 2021. 227 с.
2. Tretiak N. et al. Land Resources and Land Use Management in Ukraine: Problems of Agreement of the Institutional Structure, Functions and Authorities. *European Research Studies Journal*. 2021. Vol. XXIV, Issue 1. P. 776–789. DOI: 10.35808/ersj/1994.
3. Ibatullin Sh. et al. Agricultural Land Market in Ukraine: Challenges of Trade

- Liberalization and Future Land Policy Reforms. Land. 2024. Vol. 13(3). P. 338. DOI: <https://doi.org/10.3390/land13030338>
4. Декларація ООН про права селян та інших людей, які працюють у сільській місцевості: популярний виклад та коментарі : посібник / О. М. Бородіна, О. В. Риковська, О. В. Михайленко, М. М. Ксенофонов, О. В. Фраер. Київ : ГО «Платформа знань – аграрний розвиток та сільські інновації», 2023. 134 с. URL: https://arci.org.ua/wp-content/uploads/2024/04/Manual_UNDROP_web.pdf
 5. Novakovska I., Belousova N., Hunko L. Land degradation in Ukraine as a result of military operations. Acta Scientiarum Polonorum Administratio Locorum. 2025. Vol. 24(1). 129–145. DOI: <https://doi.org/10.31648/aspa.9788>
 6. European Union, United Nations, Government of Ukraine, World Bank. Ukraine - Fourth Rapid Damage and Needs Assessment (RDNA4) : February 2022 - December 2024. Washington, D.C. : World Bank Group. URL: <http://documents.worldbank.org/curated/en/099022025114040022>
 7. Третяк А. М. та ін. Охорона земель в Україні: наукові та управлінські рішення в умовах воєнних дій. *Землеустрій, кадастр і моніторинг земель*. 2024. № 1. С. 19–34. DOI: <https://doi.org/10.31548/zemleustriy2024.01>
 8. Семенчук І. М., Склярчук Т. І. Управління земельними ресурсами в умовах євроінтеграції. *Агросвіт*. 2017. № 23. С. 18–23. URL: <http://www.agrosvit.info/?op=1&z=2513&i=2>
 9. Богіра М. Трансформація земельних відносин у період воєнного стану в Україні. *Вісник Львівського національного університету природокористування. Серія Архітектура та будівництво*. 2022. № 23. С. 130–133. URL: <https://visnyk.lnup.edu.ua/index.php/architecture/article/view/409>
 10. Богіра М. Особливості проведення державного контролю за використанням та охороною земель в умовах воєнного стану в Україні. *Вісник Львівського національного університету природокористування. Серія Архітектура та будівництво*. 2024. № 25. С. 184–187. DOI: <https://doi.org/10.31734/architecture2024.25.184>
 11. Хавар Ю., Сай В., Маліброда С. Особливості робіт із землеустрою в умовах воєнного стану. *Вісник Львівського національного університету природокористування. Серія Архітектура та будівництво*. 2023. № 24. С. 177–183. DOI: <https://doi.org/10.31734/architecture2023.24.177>
 12. Саєнко Ю. Актуальні аспекти правового регулювання земельних відносин в умовах воєнного стану: екологічний вимір. *Збірник наукових праць ХНПУ імені Г. С. Сковороди «Право»*. 2024. № 40. С. 320–327. DOI: <https://doi.org/10.34142/23121661.2024.40.38>
 13. Третяк А. М., Третяк В. М., Прядка Т. М., Капінос Н. О. Розвиток системи землепорядкування на засадах новітньої інституціонально-поведінкової теорії. *Економіка та держава*. 2021. № 6. С. 27–33. DOI: [10.32702/2306-6806.2021.6.27](https://doi.org/10.32702/2306-6806.2021.6.27)
 14. Кравчук І. І. Інституційні засади управління земельними ресурсами в умовах сучасних викликів. *Вісник ЛТЕУ. Економічні науки*. 2024. № 77. С. 14–19. DOI: <https://doi.org/10.32782/2522-1205-2024-77-02>
 15. Гурський В. Стан наукової розробки проблеми регулювання земельних правовідносин в умовах воєнного стану. *Law. State. Technology*. 2025. № 2. С. 59–63. DOI: <https://doi.org/10.32782/LST/2025-2-10>
 16. Білик О. І. Перспективи розвитку земельних відносин в умовах воєнного стану в Україні. *Проблеми сучасних трансформацій. Серія: право, публічне управління та адміністрування*. 2025. № 16. DOI: <https://doi.org/10.54929/2786-5746-2025-16-01-07>

17. Дорош О., Дорош Й., Фоменко В. Здійснення землеустрою в умовах військового стану. *Землеустрій, кадастр і моніторинг земель*. 2023. № 1. С. 22–33. DOI: <https://doi.org/10.31548/zemleustriy2023.01.02>
18. Moldavan L., Pimenowa O., Prus P. State support for the implementation of peasants' land rights in Ukraine in the context of European integration. *Zeszyty Naukowe. Organizacja i Zarządzanie/Politechnika Śląska*. 2024. № 193. P. 181–192. DOI: <http://dx.doi.org/10.29119/1641-3466.2024.193.11>
19. Hafurova O., Marchenko S. Some aspects of realization of the peasants' land right. *Law. Human. Environment*. 2020. № 11(3). P. 50–57. <https://doi.org/10.31548/law2020.03.006>
20. Buitelaar E., Lagendijk A., Jacobs W. A Theory of Institutional Change: Illustrated by Dutch City-Provinces and Dutch Land Policy. *Environment and Planning A: Economy and Space*. 2007. No 39(4). P. 891–908. DOI: <https://doi.org/10.1068/a38191>
21. Приймак Н. С. Еволюція теорії управління змінами. *Науковий вісник Ужгородського університету. Серія «Економіка»*. 2019. № 1(53). С. 108–115. DOI: [https://doi.org/10.24144/2409-6857.2019.1\(53\).108-115](https://doi.org/10.24144/2409-6857.2019.1(53).108-115)
22. Застосування теорії змін у стратегічному плануванні в об'єднаних територіальних громадах: Практичний посібник / Власенко Р. Г. та ін. Програма ООН із відновлення та розбудови миру, 2020. URL: <https://files.acquia.undp.org/public/migration/ua/theory-of-change-manual.pdf>
23. Yeboah E. The Impact of Microfinance on Grassroot Development: Evidence from Smes in Kwabre East District of Ashanti Region of Ghana. *Open Journal of Business and Management*. 2017. No 5(4). P. 577–591. DOI: 10.4236/ojbm.2017.54050
24. Путівник з адаптації законодавства України до права ЄС: теоретичні та практичні аспекти / Л. А. Ваолевська та ін. Дослідницька служба Верховної Ради України, 2023. 120 с. URL: <https://research.rada.gov.ua/uploads/documents/32597.pdf>
25. European Commission. Enlargement and Eastern Neighbourhood: Glossary / Accession criteria. URL: https://enlargement.ec.europa.eu/enlargement-policy/glossary_en#accession-criteria
26. European Commission. Ukraine 2025 Report. 2025 Communication on EU enlargement policy. Brussels, 4.11.2025 SWD(2025) 759 final Commission Staff Working Document. URL: https://enlargement.ec.europa.eu/document/download/17115494-8122-4d10-8a06-2cf275eecd7_en?filename=ukraine-report-2025.pdf

References

1. Tretiak, A. M., Tretiak, V. M., Kuryltsiv, R. M., Priadka, T. M., & Tretiak, N. A. (2021). Upravlinnia zemelnymy resursamy ta zemlekorystuvanniam: bazovi zasady teorii, instytutsiolizatsii, praktyky [Land resources and land use management: Basic principles of theory, institutionalization, and practice]. Bila Tserkva: Bilotserkivdruk, 227.
2. Tretiak, N., et al. (2021). Land resources and land use management in Ukraine: Problems of agreement of the institutional structure, functions and authorities. *European Research Studies Journal*, XXIV(1), 776–789. DOI: <https://doi.org/10.35808/ersj/1994>
3. Ibatullin, Sh., et al. (2024). Agricultural land market in Ukraine: Challenges of trade liberalization and future land policy reforms. *Land*, 13(3), 338. DOI: <https://doi.org/10.3390/land13030338>
4. Borodina, O. M., Rykovska, O. V., Mykhailenko, O. V., Ksenofontov, M. M., & Fraier, O. V. (2023). Deklaratsiia OON pro prava selian ta inshykh liudei, yaki pratsiuut u silskii mistsevosti: populiarnyi vyklad ta komentari [UN Declaration on the Rights of Peas-

- ants and Other People Working in Rural Areas: Popular presentation and commentary]. Kyiv: Knowledge Platform – Agrarian Development and Rural Innovations. Available at: https://arci.org.ua/wp-content/uploads/2024/04/Manual_UNDROP_web.pdf
5. Novakovska, I., Belousova, N., & Hunko, L. (2025). Land degradation in Ukraine as a result of military operations. *Acta Scientiarum Polonorum. Administratio Locorum*, 24(1), 129–145. DOI: <https://doi.org/10.31648/aspl.9788>
 6. European Union, United Nations, Government of Ukraine, & World Bank. (2024). Ukraine – Fourth Rapid Damage and Needs Assessment (RDNA4): February 2022–December 2024. Washington, DC: World Bank Group. Available at: <http://documents.worldbank.org/curated/en/099022025114040022>
 7. Tretiak, A. M., et al. (2024). Okhорona zemel v Ukraini: naukovi ta upravliniskishennia v umovakh voiennykh dii [Land protection in Ukraine: Scientific and managerial solutions under wartime conditions]. *Zemleustrii, kadastr i monitorynh zemel*, (1), 19–34. DOI: <https://doi.org/10.31548/zemleustriy2024.01>
 8. Semenchuk, I. M., & Skliaruk, T. I. (2017). Upravlinnia zemelnymy resursamy v umovakh yevrointehratsii [Land resources management in the context of European integration]. *Ahrosvit*, (23), 18–23. Available at: <http://www.agrosvit.info/?op=1&z=2513&i=2>
 9. Bohira, M. (2022). Transformatsiia zemelnnykh vidnosyn u period voiennoho stanu v Ukraini [Transformation of land relations during the period of martial law in Ukraine]. *Visnyk Lvivskoho natsionalnoho universytetu pryrodokorystuvannia. Serii Arkhitektura ta budivnytstvo*, (23), 130–133. Available at: <https://visnyk.lnup.edu.ua/index.php/architecture/article/view/409>
 10. Bohira, M. (2024). Osoblyvosti provedennia derzhavnoho kontroliu za vykorystanniam ta okhорonoiu zemel v umovakh voiennoho stanu v Ukraini [Features of state control over land use and protection under martial law in Ukraine]. *Visnyk Lvivskoho natsionalnoho universytetu pryrodokorystuvannia. Serii Arkhitektura ta budivnytstvo*, (25), 184–187. DOI: <https://doi.org/10.31734/architecture2024.25.184>
 11. Khavar, Yu., Sai, V., & Malibroda, S. (2023). Osoblyvosti robit iz zemleustroiu v umovakh voiennoho stanu [Features of land management works under martial law]. *Visnyk Lvivskoho natsionalnoho universytetu pryrodokorystuvannia. Serii Arkhitektura ta budivnytstvo*, (24), 177–183. DOI: <https://doi.org/10.31734/architecture2023.24.177>
 12. Saienko, Yu. (2024). Aktualni aspekty pravovoho rehuliuвання zemelnnykh vidnosyn v umovakh voiennoho stanu: ekolohichniy vymir [Current aspects of legal regulation of land relations under martial law: Environmental dimension]. *Zbirnyk naukovykh prats KhNPU imeni H. S. Skovorody «Pravo»*, (40), 320–327. DOI: <https://doi.org/10.34142/23121661.2024.40.38>
 13. Tretiak, A. M., Tretiak, V. M., Priadka, T. M., & Kapinos, N. O. (2021). Rozvytok systemy zemlevporiadkuvannia na zasadakh novitnoi instytutsionalno-povedinkovoi teorii [Development of the land management system based on the latest institutional-behavioral theory]. *Ekonomika ta derzhava*, (6), 27–33. DOI: <https://doi.org/10.32702/2306-6806.2021.6.27>
 14. Kravchuk, I. I. (2024). Instytutsiini zasady upravlinnia zemelnymy resursamy v umovakh suchasnykh vyklykiv [Institutional foundations of land resources management under modern challenges]. *Visnyk LTEU. Ekonomichni nauky*, (77), 14–19. DOI: <https://doi.org/10.32782/2522-1205-2024-77-02>
 15. Hurskyi, V. (2025). Stan naukovoї rozrobky problemy rehuliuвання zemelnnykh pravovidnosyn v umovakh voiennoho sta-

- nu [State of scientific development of the problem of regulating land legal relations under martial law]. *Law. State. Technology*, (2), 59–63. DOI: <https://doi.org/10.32782/LST/2025-2-10>
16. Bilyk, O. I. (2025). Perspektyvy rozvytku zemelnykh vidnosyn v umovakh voiennoho stanu v Ukraini [Prospects for the development of land relations under martial law in Ukraine]. *Problemy suchasnykh transformatsii. Seriya: pravo, publichne upravlinnia ta administruvannia*, (16). DOI: <https://doi.org/10.54929/2786-5746-2025-16-01-07>
17. Dorosh, O., Dorosh, Y., & Fomenko, V. (2023). Zdiisnennia zemleustroi v umovakh viiskovoho stanu [Implementation of land management under martial law]. *Zemleustrii, kadastr i monitorynh zemel*, (1), 22–33. DOI: <https://doi.org/10.31548/zemleustriy2023.01.02>
18. Moldavan, L., Pimenowa, O., & Prus, P. (2024). State support for the implementation of peasants' land rights in Ukraine in the context of European integration. *Zeszyty Naukowe. Organizacja i Zarządzanie / Politechnika Śląska*, (193), 181–192. DOI: <https://doi.org/10.29119/1641-3466.2024.193.11>
19. Hafurova, O., & Marchenko, S. (2020). Some aspects of realization of the peasants' land right. *Law. Human. Environment*, 11(3), 50–57. DOI: <https://doi.org/10.31548/law2020.03.006>
20. Buitelaar, E., Lagendijk, A., & Jacobs, W. (2007). A theory of institutional change: Illustrated by Dutch city-provinces and Dutch land policy. *Environment and Planning A: Economy and Space*, 39(4), 891–908. DOI: <https://doi.org/10.1068/a38191>
21. Pryimak, N. S. (2019). Evoliutsiia teorii upravlinnia zminamy [Evolution of change management theory]. *Naukovyi visnyk Uzhhorodskoho universytetu. Seriya «Ekonomika»*, 1(53), 108–115. DOI: [https://doi.org/10.24144/2409-6857.2019.1\(53\).108-115](https://doi.org/10.24144/2409-6857.2019.1(53).108-115)
22. Vlasenko, R. H., et al. (2020). Zastosuvannia teorii zmin u strateichnomu planuvanni v ob'ednanih terytorialnykh hromadakh: Praktychniy posibnyk [Application of theory of change in strategic planning in united territorial communities: Practical manual]. United Nations Development Programme Peacebuilding and Recovery Programme. Available at: <https://files.acquia.undp.org/public/migration/ua/theory-of-change-manual.pdf>
23. Yeboah, E. (2017). The impact of microfinance on grassroot development: Evidence from SMEs in the Kwabre East District of the Ashanti Region of Ghana. *Open Journal of Business and Management*, 5(4), 577–591. DOI: <https://doi.org/10.4236/ojbm.2017.54050>
24. Vaolevska, L. A., et al. (2023). Putivnyk z adaptatsii zakonodavstva Ukrainy do prava YeS: teoretychni ta praktychni aspekty [Guide to adapting Ukrainian legislation to EU law: Theoretical and practical aspects]. Doslidnytska sluzhba Verkhovnoi Rady Ukrainy. Available at: <https://research.rada.gov.ua/uploads/documents/32597.pdf>
25. European Commission. (n.d.). Enlargement and Eastern Neighbourhood: Glossary. Accession criteria. Available at: https://enlargement.ec.europa.eu/enlargement-policy/glossary_en#accession-criteria
26. European Commission. (2025). Ukraine 2025 Report: 2025 Communication on EU enlargement policy (Commission Staff Working Document SWD(2025) 759 final, Brussels, 4 November 2025). Available at: https://enlargement.ec.europa.eu/document/download/17115494-8122-4d10-8a06-2cf275eecd7_en?file-name=ukraine-report-2025.pdf

Dorosh Y., Ibatullin Sh., Sakal O., Krupin V., Kharytonenko R., Derkul'skyi R.
THEORETICAL FOUNDATIONS OF INSTITUTIONAL CHANGE IN LAND MANAGEMENT UNDER CONDITIONS OF UKRAINE'S EUROPEAN INTEGRATION, THE LEGAL REGIME OF MARTIAL LAW, AND FOR THE PURPOSES OF POST-WAR RECOVERY

LAND MANAGEMENT, CADASTRE AND LAND MONITORING 4'25: 4-18

<http://dx.doi.org/10.31548/zemleustriy2025.04.01>

Abstract. The transformation of Ukraine's land legislation in connection with integration into the European Union is significantly complicated by the legal regime of martial law and requires, among other things, consideration of the tasks and priorities of the country's post-war reconstruction. In this context, institutional changes are taking place aimed at improving land resources governance and mitigating the full range of risks in this sphere. However, these processes lack a unified methodological foundation, which threatens their overall success.

This article is devoted to substantiating the theoretical foundations of institutional change in the field of land resource governance in accordance with the theory of change approach, using the Grassroots Development Framework and an integrated human rights-based approach, in particular the right of access to land. To identify the key points of institutional changes, the study involved the analysis of the main requirements of the European Union legislation concerning land, the examination of national land legislation and the impact of the legal regime of martial law on it, as well as the assessment of the needs and goals of post-war reconstruction.

It is demonstrated that the legal regime of martial law in Ukraine significantly affects institutional changes and institutional support for land management, necessitating temporary adjustments to legal and organizational mechanisms for land resources governance. It is substantiated that, during post-war recovery, institutional changes in land management become critically important and fundamental for effective land resources governance and ensuring food, technological, economic security, and access to land. Major challenges include the restoration of destroyed infrastructure, demining, and the return of lands to productive use. Meanwhile, the design of a strategic agricultural development plan, aligned with European principles and the European Union Common Agricultural Policy, provides opportunities to improve the land management system.

A robust and coherent theoretical and methodological framework for the institutional changes taking place in the field of land management and land resources governance in Ukraine will make it possible to plan transformations strategically, thereby aligning and monitoring objectives and outcomes at both the European Union and national levels, in the current period and in addressing post-war challenges related to land use and agricultural development.

Keywords: land management, land resources governance, institutional changes, theory of change, European integration, martial law, post-war recovery, right to land, food security.

ДО ПИТАННЯ ПРО СУЧАСНУ ТЕОРІЮ ЗЕМЛЕУСТРОЮ

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

С.С. ЗАМЛИНСЬКИЙ,

аспірант,

Email: sergeysz75@gmail.com

ORCID: 0000-0002-7661-5920

Національний університет біоресурсів і природокористування України

Анотація. Стаття присвячена формуванню сучасної теорії землеустрою як самостійної фундаментальної наукової дисципліни шляхом системного формулювання її предмета й об'єкта, ідентифікації провідних теоретичних моделей, артикуляції аксіоматичного базису та впорядкування методологічного інструментарію, здатного забезпечити перехід від екосистемо-технократичного розуміння простору до його інституційно-ціннісного осмислення. На основі критичного аналізу міжнародної парадигми *land administration*, українських доктринальних напрацювань, інституційної теорії, теорії прав власності та просторової економіки уточнено об'єкт і предмет землеустрою: об'єктом визнано багатовимірний соціально-просторовий континуум, у якому територія перетворюється на впорядкований простір прав, обмежень, режимів, рент і ризиків; предметом – виникнення, структура і динаміка просторових режимів землекористування як системи правових титулів, сервітутів, зон, коридорів і резервувань у багатоплановому (поверхня–підземний простір–повітряний стовп) та багаточасовому вимірах. Сформульовано аксіоматичне ядро теорії сучасного землеустрою. Показано, що методологія землеустрою повинна включати інституційний аналіз, теоретико-правову догматику просторових режимів, просторово-економічне моделювання рент, топологічні та мережеві підходи, екологічне рахівництво, геоінформаційне та алгоритмічне моделювання, сценарний аналіз і процедури просторової справедливості. Узагальнено та систематизовано ядро наукових проблем теорії землеустрою, розв'язання яких є необхідною умовою переходу від фрагментарної нормативно-технічної

практики до інституційно зрілого просторового врядування. Практична значущість результатів полягає у створенні концептуальної рамки для оновлення освітніх програм, удосконалення кадастрових і планувальних систем, а також для розроблення стандартів управління цінністю простору в умовах цифровізації та зростання ролі просторової справедливості.

Ключові слова: теорія землеустрою; просторові режими землекористування; межі й кордони; просторова цінність; аксіоматика землеустрою; методологія *land administration*; цифровий кадастр; інституційний дизайн; просторове врядування.

Постановка проблеми

У сучасному науковому та нормативно-практичному дискурсі землеустрій нерідко трактується як техніко-прикладна діяльність із формування, встановлення та закріплення меж земельних ділянок, розроблення відповідних планово-картографічних матеріалів і забезпечення ведення кадастру. Така редукція до «технології оформлення ділянок» методологічно збіднює зміст дисципліни, маргіналізує її теоретичний потенціал і не дозволяє адекватно описати складну природу сучасного просторового порядку. За своєю суттю землеустрій полягає в управлінні цінністю простору – процесі, у якому територія перетворюється на впорядкований простір прав, обмежень і економіко-екологічних цінностей. Це вимагає не лише набору процедур, а повноцінної теорії, яка б описувала онтологію меж і режимів, аксіологію просторової цінності та інституційні механізми узгодження інтересів у просторі.

Наявний стан розвитку теорії землеустрою характеризується фрагментарністю й еkleктизмом: окремі поняття й підходи запозичуються з кадастрової справи, містобудування, земельного права, економіки землекористування, екології, просторового планування, проте не інтегруються

в узгоджену концептуальну рамку. Не достатньо сформульоване нормативне ядро теорії сучасного землеустрою як узагальнювальної наукової конструкції, котра формалізує правила перетворення земельних ресурсів відповідних територій в упорядкований простір прав, обмежень і цінностей. Не достатньо з'ясовано, яким чином межі й кордони набувають онтологічного статусу, як саме «просторові функції» стають «активом», і яким чином потоки, пов'язані з використанням середовища землекористування і режими землекористування координують приватні, публічні й екологічні інтереси в єдиному інституційному полі. Це породжує теоретичну невизначеність та практичну розбалансованість нормотворення й управлінських рішень.

Ключова проблема полягає в тому, що сучасний землеустрій, фактично функціонуючи як комплекс управлінських практик, не має достатньо чітко артикульованих основоположних постулатів і аксіом, які б описували його як самостійну наукову дисципліну. Не визначено вичерпно предмет і об'єкт землеустрою в сучасних умовах багатошарового використання земельних та інших ресурсів простору (всі природні біологічні ресурси, мінеральні та енергетичні ресурси, ґрунтові ресурси та водні ресурси) і

багаточасового виміру (довгострокові, тимчасові, умовні режими). На рівні предмета теорії не інституалізовано вивчення виникнення, структури та динаміки просторових режимів землекористування як системи правових титулів, сервітутів, обмежень, зон, коридорів і резервувань, що накладаються один на одного і формують складну конфігурацію правових, економічних і екологічних відносин.

Філософсько-категоріальний апарат землеустрою також залишається недостатньо розробленим. Поняття «межа ділянки», «межа території», «зона», «режим» здебільшого використовуються описово, без належної онтологічної та гносеологічної рефлексії. Межа рутинно ототожнюється з геометричною лінією на плані, хоча фактично є онто-правовою подією, що створює відмінність між правовими статусами й рентними можливостями, а також фіксує новий стан колективної дії та інституційної домовленості. Кордон обмежується уявленням про «лінію між юрисдикціями», хоча в реальності виступає концентратором режимів, де нашаровуються компетенції, інтереси й обмеження різних рівнів влади й різних суб'єктів. Поняття «просторова цінність» часто редукується до ринкової ціни, тоді як її сутність є композитною і включає ренту, екосистемні послуги, опціонні вартості майбутніх використань, мережеві ефекти та регуляторну рідкість. Така термінологічна недостатність унеможлиблює створення послідовної теорії, здатної пояснювати емерджентний характер цінності землі як функції правил і очікувань.

На рівні аксіоматики теорії землеустрою зберігається суттєва лакуна. Не артикульовано науково вивірену

систему аксіом, які б фіксували, що: межі конституують права і ренти; будь-яка межа має багатовимірний характер (топологічний, правовий, екологічний, часовий); цінність землі є емерджентною характеристикою встановлених правил і режимів; оптимум просторової організації досягається не геометрією як такою, а інституційним дизайном і керованою невизначеністю; цифровізація не усуває конфліктів інтересів, а трансформує онтологію меж і спосіб фіксації прав. Без такої аксіоматизації неможливо ні побудувати строгі теоретичні моделі, ні забезпечити наступність у розвитку доктрини, ні сформувати стандартизовані освітні програми.

Серйозну наукову проблему становить також методологічна невизначеність. Сучасний землеустрій де-факто спирається на інструментарій топографії, кадастрових технологій і нормативного планування, при цьому лише фрагментарно залучаючи інституційний аналіз, теорію прав власності, публічно-правові режими, просторово-економічне моделювання рент, екологічні рахунки, топологічні та мережеві підходи до зонування, теорію алгоритмічного врядування й теорію справедливості у просторі. Необхідно інтегровати методологію, яка дозволить розглядати землеустрій як повноцінну міждисциплінарну теорію управління цінністю простору, яка б поєднувала правові, економічні, екологічні, технічні й етичні виміри регулювання землекористування.

Сучасні трансформації, пов'язані з цифровізацією кадастру, розвитком геоінформаційних систем, появою алгоритмічних форм просторового врядування, зміною клімату, зростанням частоти екологічних і соціально-економічних шоків, лише загос-

трюють зазначені методологічні та онтологічні проблеми. Оцифрування меж трансформує спосіб їх фіксації (перенесення в код і бази геоданих), але не знімає конфліктів інтересів і не усуває необхідності справедливо-го, легітимного й доказового встановлення обмежень. Навпаки, «тонкі» цифрові межі вимагають глибокого переосмислення їхньої товщини, вертикальної стратифікації, тривалості, умов чинності, механізмів адаптивного оновлення за даними й процедурної справедливості при прийнятті рішень. Проте теоретична рамка, яка б системно описувала ці аспекти, наразі відсутня.

Окремий блок проблем пов'язаний з концептуалізацією обмежень у землекористуванні. Вони повинні розглядатися не як довільні заборони, а як інструменти узгодження інтересів і зниження ризиків, засновані на публічному інтересі, пропорційності, доказовості та процедурній справедливості. Однак у наявних підходах обмеження класифікуються переважно формально-юридично (санітарні, природоохоронні, охоронні зони тощо), без належного урахування їхнього інституційного змісту, адаптивності та взаємодії з економікою, рент, екосистемними послугами та колективною дією. Відсутність теорії обмежень як ядрової категорії землеустрою призводить до конфліктності рішень, неефективності режимів та деградації просторової цінності.

Таким чином, попри очевидну важливість землеустрою для формування просторового порядку, управління земельними й екосистемними ресурсами та забезпечення суспільного добробуту, його теоретичний статус залишається недостатньо вивченим. Часто землеустрій сприйма-

ють як набір прикладних процедур, тоді як об'єктивно він уже функціонує як складна система управління цінністю простору в умовах множинності інтересів, ризиків і невизначеностей. Існує великий, фактично неосвоєний простір для досліджень, пов'язаних з онтологією меж і кордонів складових екосистем землекористування, категоріальним апаратом просторової цінності, аксіоматикою режимів землекористування, методологією інтеграції правових, економічних, екологічних і технічних підходів. Відтак наукова проблема полягає в необхідності удосконалення сучасної теорії землеустрою як самостійної наукової дисципліни з чітко визначеним нормативним ядром, предметом, об'єктом, категоріальним апаратом, аксіомами та методологією, здатної описати й пояснити управління цінністю простору в умовах цифровізації, інституційної складності та зростаючої ролі просторової справедливості.

Мета статті. Метою цієї статті є концептуалізація сучасної теорії землеустрою як самостійної фундаментальної наукової дисципліни шляхом системного формулювання її предмета й об'єкта, ідентифікації провідних теоретичних моделей, артикуляції аксіоматичного базису та впорядкування методологічного інструментарію, здатного забезпечити перехід від екосистемо-технократичного розуміння простору до його інституційно-ціннісного осмислення.

У межах поставленої мети передбачається:

1) запропонувати строгі дефініції предмета – як виникнення, структури та динаміки просторових режимів землекористування у багатoshаровому та багаточасовому вимірах – та об'єкта – як цілісного керованого

простору, що формується через онто-правові акти встановлення меж, зон і кордонів;

2) проаналізувати ключові теорії, які обґрунтовують землеустрій не як сервісну, а як генералізувальну дисципліну врядування цінністю просторових функцій, зокрема – теорію прав власності, теорію інституційного дизайну меж, просторово-економічні концепції емерджентності рент і моделі просторової справедливості;

3) сформулювати базові аксіоми землеустрою, що фіксують емерджентний характер просторової цінності, багатовимірну онтологію меж та пріоритет інституційних механізмів над суто геометричними оптимумами;

4) визначити корпус основних методів, серед яких – інституційний аналіз, просторово-економічне моделювання, топологічні та мережеві підходи до зонування, екологічне рахівництво, алгоритмічні моделі врядування та нормативні процедури оцінювання зовнішніх ефектів просторових трансформацій;

5) окреслити актуальний перелік ядрових наукових проблем, вирішення яких є необхідною умовою становлення сучасної теорії землеустрою, включно з проблемами онтологічного статусу меж у цифровому середовищі, формалізації вертикальних і тимчасових просторових титулів, розроблення теорії просторових обмежень як легітимної форми колективної дії, моделювання композитних рент з урахуванням екосистемних та опціональних вартостей, узгодження процедурної справедливості з обчислювальним врядуванням, а також формування єдиного логічно несуперечливого теоретичного канону.

Досягнення цієї мети скероване

на подолання дисциплінарної фрагментації та створення теоретичного каркаса, що дозволить землеустрою набути статусу повноцінної наукової доктрини, спроможної пояснювати та формалізувати закономірності перетворення території на керований простір цінностей, інтересів, правил і ризиків.

Матеріали і методи дослідження

Матеріальну основу дослідження становлять корпус сучасних наукових публікацій з теорії землекористування, просторового планування, економіки рент, цифрового кадастру, інституційного дизайну та земельного права; міжнародні доктринальні документи й стандарти просторового врядування; а також актуальні концептуальні напрацювання у сфері філософії простору, теорії прав власності, теорії справедливості та алгоритмічного врядування. Добір матеріалів здійснювався за критеріями наукової релевантності, парадигмальної сучасності, міждисциплінарної інтегративності та здатності відображати фундаментальний (не суто прикладний) характер землеустрою. В дослідженні враховано застереження щодо можливих методологічних викривлень, пов'язаних із нормативною мінливістю земельної політики в різних юрисдикціях, онтологічною «тонкістю» цифрових меж, яка може створювати ілюзію остаточної формалізації просторових титулів, а також з обмеженою порівнюваністю окремих національних теоретичних традицій, що перебувають на різних етапах концептуальної зрілості. Окремо наголошується, що емпіричні дані не моделювалися, а теоретичні узагальнення формувалися без

прив'язки до поточно-кон'юнктурних політичних циклів.

Методологія дослідження є комплексною й поєднує інструменти філософсько-теоретичної рефлексії та формального міждисциплінарного аналізу. Застосовано: інституційний аналіз і синтез режимів землекористування; топологічне моделювання меж і зон як багатовимірних відношень; просторово-економічне осмислення рент як емерджентного результату правил; екологічний підхід до розуміння просторової цінності через інтеграцію екосистемних та опціональних вартостей; методи концептуальної аксіоматизації; а також елементи теорії алгоритмічного врядування для критичної оцінки трансформації онтології меж у цифровому середовищі. Дослідження проводилось із дотриманням принципів доказовості, несуперечливості дефініцій, пропорційності теоретичних припущень і процедурної справедливості інтерпретацій. Водночас враховано обмеження загальнотеоретичного характеру: відсутність єдиного усталеного теоретичного канону землеустрою, високу складність інтеграції вертикальних і часових титулів у наявні моделі, а також необхідність подальшої верифікації окремих постулатів у наступних спеціалізованих дослідженнях.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

В сучасній міжнародній науковій традиції домінує парадигма *land administration*, у межах якої земельно-просторові відносини розглядаються як інтегрована інфраструктура для реалізації земельної політики, забезпечення сталого роз-

витку та координації прав, обмежень і відповідальностей. У фундаментальній праці Дейла та Маклафліна *land administration* інтерпретується як системна організація процесів визначення, фіксації та поширення інформації про права, вартість і використання землі як базового ресурсу просторового розвитку [1]. Подальший розвиток цієї рамки запропоновано у монографії Вільямсона, Енемарка, Воллеса та Раджабіфарда, де *land administration* розглядається як ядро «інфраструктури земельного управління», що забезпечує взаємодію чотирьох ключових функцій – володіння, вартості, використання й розвитку землі [2]. Ці автори послідовно демонструють, що кадастр перестає бути лише картографічно-реєстраційним інструментом і перетворюється на інституційний механізм координування просторових режимів у довгостроковій перспективі [2; 4]. У статті Беннетта, Воллеса й Вільямсона обґрунтовано, що організація земельної інформації має будуватися за функціональною, а не суто геометричною логікою, з урахуванням множинних типів інтересів та обтяжень, які накладаються на одну й ту саму територіальну одиницю [3].

Важливим кроком у переході від «класичного» кадастру до теорії просторових режимів стали концепції *Cadastre 2014* та пов'язані з ними напрями стандартизації. У програмному документі FIG «*Cadastre 2014 – A Vision for a Future Cadastral System*» Кауфман і Штойдлер запропонували бачення кадастру як повної документації не лише приватних прав, а й публічно-правових обмежень та відповідальностей, інтегрованих у ширшу систему просторової інформації [5]. Подальший розвиток цих ідей у збірнику «*Cadastre 2014 and Beyond*» під

редакцією Штойдлера пов'язаний із переходом до багатовимірних (3D) та багатопланових моделей, де об'єктом управління стає не площа, а об'ємний простір прав і режимів [6]. На цій основі міжнародний стандарт ISO 19152 «*Land Administration Domain Model (LADM)*» формалізує понятійний апарат прав, обмежень і відповідальностей (RRR), закріплюючи модель, у якій один просторовий об'єкт може бути одночасно носієм різнотипних правових титулів у поверхневому, підземному та повітряному вимірах [7]. Роботи ван Остерама та Леммена показують, що LADM є не лише технічним стандартом, а й концептуальною рамкою для опису багаторівневих режимів землекористування, включно з інституційними та правовими аспектами [8].

Паралельно із розвитком концептуальних моделей кадастру формується нормативна парадигма «*fit-for-purpose land administration*», спрямована на масштабоване забезпечення безпеки прав та інклюзивного доступу до простору. Спільна публікація FIG та Світового банку «*Fit-For-Purpose Land Administration*» формулює принципи проектування систем, орієнтованих на потреби людей і контекст, а не на жорсткі технічні стандарти точності [9]. У пізнішій роботі Енемарка, Макларена та Леммена «*Fit-for-Purpose Land Administration—Providing Secure Land Rights at Scale*» концепція FFPLA інтерпретується як еволюція land administration у напрямі гнучких, інкрементально вдосконалюваних інституцій, здатних охопити як формальні, так і неформальні форми володіння й користування [10]. Водночас «Добровільні керівні принципи щодо відповідального врядування прав володіння землею, рибальством

і лісами» (VGGT) ФАО задають глобальний етичний та правовий каркас, у якому безпека прав, справедливий доступ та захист уразливих груп розглядаються як критерії належного управління територією [11]. Рамка UN-GGIM «*Framework for Effective Land Administration (FELA)*» закріплює зв'язок між ефективною land administration, Цілями сталого розвитку та інтегрованим геопросторовим управлінням, підкреслюючи, що «відносини людей до землі» мають бути відображені в усіх формах – формальних, звичаєвих, індивідуальних і колективних [12].

Суттєвий внесок у розуміння землеустрою як управління просторовими режимами системи землекористування мають наукові праці, які зосереджені на інструментах перерозподілу та реструктуризації земель, насамперед на консолідації. У статті Пашакарніса й Малієне застосування земельної консолідації інтерпретується як ключовий інструмент сталого розвитку сільських територій у країнах Центральної та Східної Європи, що поєднає корекцію фрагментованої структури землеволодінь із екологічними та соціальними цілями [15]. Ця робота показує, що просторові трансформації (укрупнення ділянок, формування коридорів, зон і сервітутів) неможливо редукувати до «технічних» задач планування: вони завжди є переплетенням правових титулів, режимів користування, інструментів компенсації та механізмів колективної дії. Через численні посібники ФАО щодо проектування пілотних проєктів консолідації ця логіка вбудовується в міжнародні стандарти управління сільським простором, посилюючи розуміння землеустрою як поліцентричної й інституційно насиченої практи-

ки, а не лише комплексу геодезичних робіт [10; 15].

Онтологічні та нормативні виміри просторових режимів опосередковано розробляються в міждисциплінарних дослідженнях прав власності, спільних ресурсів і просторової справедливості. У праці Е. Остром «Governing the Commons» показано, що сталі режими користування спільними ресурсами формуються як еволюційні інституційні конструкції, де правила доступу, моніторингу, санкцій та вирішення конфліктів мають не менш важливе значення, ніж фізичні характеристики ресурсу [13]. Це дає підстави розглядати «просторову цінність» як емерджентну властивість інституційного дизайну, а не суто природного чи ринкового статусу землі. У статті О. Александера про «публічний інтерес у плануванні» обґрунтовано, що легітимність територіального планування не може обмежуватися формальним посиленням на «суспільну користь», а має базуватися на процедурних критеріях справедливості, прозорості та аргументованого балансування приватних і публічних інтересів [14]. Хоча ці праці не належать безпосередньо до «теорії землеустрою», вони задають сучасні філософсько-методологічні орієнтири для осмислення межі, зони та режиму як інституційних феноменів, у яких поєднано правові, економічні, екологічні та етичні виміри.

У контексті глобального дискурсу окрему нішу займають підходи, орієнтовані на вразливі групи та неформальні права. Роботи Зевенбергера, Беннетта й співавторів формують принципи «*pro-poor land administration*», відповідно до яких системи реєстрації прав мають охоплювати весь спектр фактичних відносин до землі, включаючи звичаєві,

тимчасові та групові права, через такі інструменти, як модель соціальних територіальних доменів (STDМ) і континуум прав на землю [23]. У поєднанні з VGGT та FELA ці підходи підкреслюють, що управління простором неможливо зводити до жорсткого двійкового поділу «формальне/неформальне»: радше йдеться про мережу перекривних режимів, що потребують гнучких, але концептуально чітких описових моделей [11; 12; 23]. З позиції теорії сучасного землеустрою це означає, що межі й кордони мають мислитися як онто-правові події, які одночасно фіксують, узаконюють і трансформують структуру просторових можливостей і цінностей.

Українська наукова традиція також виробила низку підходів до теоретичного осмислення землеустрою, хоча вони значною мірою залишаються в межах нормативно-правової та організаційної рамки. Дослідження питань теоретико-методологічних засад формування системи еколого-економічного адміністрування землекористування провели А. Третяк та Р. Курильців. Результати досліджень висвітили в монографії «Управління земельними ресурсами та землекористуванням: базові засади теорії, інституціалізації, практики» [16]. У монографії А. Третяка «Землевпорядкування в Україні: розвиток на засадах новітньої інституціонально-поведінкової теорії» досліджено інституціонально-поведінкову теорію розвитку землевпорядкування [17]. У статті «Парадигма розвитку сучасної теорії землеустрою в Україні» А. Третяк окреслює перехід від планово-адміністративних підходів до інституціонально-поведінкової парадигми, у якій землеустрій розглядається як інструмент узгодження інтересів суб'єктів земельних відносин

і просторової модернізації територій [18]. У працях А. Третяка, В. Третяк «Оцінка вартості підтипів землекористування сільськогосподарського призначення в проектах консолідації земель» висвітлені аспекти оцінки вартості підтипів землекористування, які розглядаються як базова територіально-просторова основа для консолідації земель сільськогосподарського призначення у поєднанні із екосистемними послугами [19]. У навчальному посібнику «Система земельного адміністрування: основи сучасної теорії» В. Шипулін розглядає базові концепції системи земельного адміністрування як перспективного напрямку подальшого розвитку наявної практики регулювання земельних відносин та управління використанням земельних ресурсів в Україні [20]. Й. Дорош у статті «Землеустрій як основоположний механізм формування земельних відносин в умовах трансформаційної економіки» позиціонує землеустрій як системний механізм, що забезпечує організацію землі, формування земельних ділянок та встановлення прав, та акцентує увагу на тому, як землеустрій упорядковує відносини між власниками, користувачами та державою [21]. У навчальному посібнику «Теоретичні засади землеустрою» Л. Перович, В. Сай та М. Маланчук формують систематизоване уявлення про зміст, завдання, принципи й об'єкти землеустрою, акцентуючи його роль у забезпеченні раціонального використання земель і просторової організації виробництва [22]. Водночас головний наголос у більшості праць робиться на функціонально-нормативних аспектах (завдання, функції, принципи, організаційні процедури), тоді як онтологія меж і кордонів, аксіоматизація про-

сторових режимів і формалізація категорії «просторова цінність» лишаються фрагментарно розробленими.

Отже, наявний корпус міжнародних і вітчизняних досліджень демонструє значний прогрес у формуванні концепцій *land administration*, кадастру нового покоління, *fit-for-purpose* підходів і інструментів консолідації та реструктуризації земель [1–3; 5–12; 15–23]. Однак цей прогрес переважно реалізовано на рівні управлінських рамок, технічних стандартів і окремих інструментів політики. Потрібна цілісна теорія сучасного землеустрою як науки про виникнення, структуру та динаміку просторових режимів землекористування, у якій було б чітко визначено предмет і об'єкт дослідження, базовий категоріальний апарат (межа, зона, режим, просторова цінність, колективна дія, ризик, стійкість) і систему аксіом, що описують багатовимірну природу меж та емерджентність цінності простору. Саме ця лакуна – розрив між високим рівнем розробленості інструментально-нормативних підходів і недостатньою теоретичною рефлексією над онтологією та аксіоматикою землеустрою – визначає наукову нішу, у якій розміщується запропоноване дослідження.

Виклад основного матеріалу дослідження

Становлення сучасної теорії землеустрою як самостійної наукової дисципліни вимагає, передусім, чіткого окреслення її об'єкта та предмета, оскільки саме вони задають онтологічні межі досліджуваної реальності й епістемологічні рамки допустимих пояснень. Якщо у класичній традиції землеустрій редукувався до опрацювання «землекористування

- території» як сукупності ділянок, ліній і контурів, то в сучасному розумінні йдеться не про територію як таку, а про екосистемний простір землекористування, який набуває статусу впорядкованого поля прав, обмежень і цінностей. Відтак об'єктом теорії сучасного землеустрою є не земля у фізико-географічному сенсі й не сукупність земельних ділянок у правовому реєстрі, а соціально-просторовий континуум, у якому «земля-територія» перетворена на багатовимірний простір із правовими титулами, режимами користування, колективними діями та просторовими цінностями. Це – простір, структурований онто-правовими подіями встановлення меж, кордонів, зон, коридорів і резервувань, які водночас є юридичними фактами, матеріальними маркерами, інформаційними записами й результатами інституційних домовленостей.

Об'єкт сучасного землеустрою має принципово багатовимірний характер. По-перше, він є багатоплановим: охоплює поверхню, підземний і надземний простори з їх вертикально стратифікованими інтересами, правами й ризиками. По-друге, він є багаточасовим: просторові режими мають тривалість, відстрочені наслідки, опціональні можливості, умови чинності, можуть бути тимчасовими, перехідними, адаптивними. По-третє, цей об'єкт є багатосуб'єктним: у ньому перетинаються та конфліктують приватні, публічні й колективні (зокрема екологічні та міжпоколінні) інтереси, що надає простору виразного політико-економічного та етичного виміру. Нарешті, об'єкт землеустрою є аксіологічно насиченим: він містить у собі не лише ринкову ціну, а й екосистемні послуги, культурні значення, ме-

режеві ефекти, регуляторну рідкість і опціональні вартості майбутніх способів використання. У цьому розумінні **земля та простір постають як «носії правил» і «носії очікувань»**, тобто як підґрунтя емерджентної просторової цінності.

На цьому тлі **предмет теорії сучасного землеустрою** може бути окреслений як виникнення, структура й динаміка просторових режимів землекористування, тобто таких упорядкованих конфігурацій правових титулів, обмежень, сервітутів, зон, коридорів і резервувань, які розміщуються в згаданому багатоплановому та багаточасовому просторі й визначають, хто, як, коли й за яких умов може використовувати певні просторові можливості. Предметом є не лише статична мапа режимів, а передусім процесуальність: як межі встановлюються, змінюються, оцифровуються, оскаржуються; як нові правила породжують або змінюють ренти, ризики й стійкість системи; як інституційний дизайн трансформує конфігурацію доступів і обмежень. Теорія землеустрою досліджує логіку перетворення територіальних відмінностей на правові й ціннісні відмінності: як «лінії на плані» стають онто-правовими подіями, що конституюють нові стани справедливості/несправедливості, вигоди/витрат, ризику/захищеності.

У філософському плані це означає, що предмет сучасного землеустрою розташований на перетині онтології простору, теорії інституцій та аксіології просторової справедливості. Землеустрій цікавиться **не лише тим, «де проходить межа» його об'єктів, а тим, що означає її формування**: яку відмінність вона створює, які форми колективної дії

робить можливими або неможливими, які сценарії майбутнього відкриває та закриває. Межа постає не як геометрична абстракція, а як реляційна сутність, що має «товщину» (буферний простір між режимами), «висоту/глибину» (вертикальне поширення обмежень у використанні до надр і повітря), «тривалість» (строк дії) та «інституційну твердість» (вартість її зміни). Саме тому предмет теорії землеустрою – це не картографічна описовість, соціально-економічна та екологічна, а пояснення того, як через інституціоналізовані межі й режими простір набуває онтологічного статусу активу, поля конфлікту та, водночас, можливого поля справедливого узгодження інтересів.

Надалі слід перейти до формалізації аксіоматичного ядра теорії сучасного землеустрою, без якого неможливо ні побудувати послідовну теорію, ні перетворити практику землеустрою з набору процедур на рефлексивну науку про простір (простір – територію – систему землекористування – режими землекористування – земельні ділянки).

У загальнонауковому сенсі аксіоми – це не емпіричні узагальнення й не нормативні гасла, а фундаментальні твердження про структуру досліджуваної реальності, які приймаються як вихідні, оскільки без них неможливе цілісне описання й пояснення системи. В теорії сучасного землеустрою **аксіоми – це базові постулати про онтологічний статус меж, природу просторової цінності та спосіб, у який інститути трансформують територію у впорядкований простір прав, обмежень і рент**. Вони не підміняють собою правові принципи чи політичні гасла, а задають «глибинну граматику» дис-

ципліни: те, що завжди вже передбачене, коли інженер-землевпорядник проектує межу, зону, коридор, режим чи обмеження.

На думку авторів, ключові аксіоми сучасного землеустрою можна подати у вигляді стислої системи, де кожне твердження захоплює критичний аспект просторової реальності – від конститутивної ролі меж до емерджентної природи цінності та специфіки цифрового середовища (див. табл. 1).

Подана система аксіом виконує дві взаємопов'язані функції. З одного боку, вона дисциплінує теоретичний дискурс, не дозволяючи змішувати землеустрій із суто картографічною чи реєстраційною діяльністю: кожне рішення про межу, зону чи режим необхідно мислити як онто-правову подію з емерджентними наслідками для цінності, ризиків і справедливості. З іншого боку, аксіоми створюють рамку для професійної практики: вони вимагають від землевпорядника мислити багатовимірно (вертикально, часово, інституційно), усвідомлювати невіддільність цифрових інструментів від конфліктів інтересів, сприймати обмеження й колективну дію як ядрові інструменти управління простором, а не як «додаток» до технічного проектування. Саме через таке аксіоматичне ядро землеустрій постає не як прикладний сервіс, а як повноцінна теорія управління цінністю простору.

Продовжуючи логіку аксіоматичного викладу, слід перейти до методологічного виміру теорії сучасного землеустрою. Якщо аксіоми задають «глибинну граматику» просторової реальності, то методи – це впорядковані способи її пізнання, опису й трансформації. У цьому сенсі методи

Таблиця 1. Аксиоми в теорії сучасного землеустрою

№	Аксиома теорії сучасного землеустрою	Зміст	Ілюстративний приклад застосування аксиоми
1	Межі конституують права, обмеження й ренти	Межа – це не просто геометрична лінія, а онто-правова подія: у момент її встановлення прив'язується юридичний титул, з'являються або зникають рентні можливості, змінюється структура ризиків і відповідальностей. Межа «вмикає» або «вимикає» доступ до просторових можливостей.	Утворення нової межі між земельною ділянкою під житловою забудовою та сусідньою ділянкою, переведеною в зону громадської забудови: власник першої ділянки отримує додаткову ренту від близькості до соціальної інфраструктури, власник другої – обмеження щодо інтенсивності використання. Ренти й ризики з'явилися саме внаслідок встановлення межі та зміни її правового значення.
2	Будь-яка межа є багатовимірною: топологічною, правовою, екологічною, часовою	Межа завжди має щонайменше чотири виміри: геометричний (де проходить), правовий (які титули розділяє), екологічний (які потоки речовин, енергії, видів змінює), часовий (як довго діє й на яких умовах може бути змінена). Ігнорування будь-якого з вимірів веде до помилкових рішень.	Встановлення прибережно-захисної смуги вздовж річки: топологічно – це лінія відступу, правово – зона обмежень забудови, екологічно – бар'єр для ерозії й забруднення, часово – режим, який діє постійно або до зміни плану. Формально «одна» межа фактично є багатовимірним режимним об'єктом.
3	Цінність землі є емергентною характеристикою правил і очікувань	Просторова цінність не є властивістю «грунту» чи «координат» самих по собі; вона виникає з поєднання правил (зонування, сервітутів, обмежень, дозволенних функцій) і очікувань щодо майбутнього використання. Зміна правил (навіть без фізичної трансформації) може радикально змінити цінність.	Включення ділянки з сільськогосподарського призначення до зони житлової забудови в генеральному плані: фізично земля не змінюється, але завдяки новому режиму дозволеного використання її ринкова вартість зростає в рази. Цінність – результат зміни «правил гри», а не зміни ґрунту.
4	Оптимум просторової організації досягається не геометрією, а інституційним дизайном і керованою невизначеністю	«Ідеальний» план ділянок не гарантує ні ефективності, ні справедливості. Вирішальне значення мають механізми: як змінюються режими, як розподіляються вигоди й витрати, як працюють процедури оскарження й доузгодження. Землеустрій оперує не статичною формою, а здатністю системи адаптивно реагувати на зміни.	Два села мають однаково «красиві» з точки зору геометрії схеми землекористування. В одному створені дієві механізми земельної консолідації, добровільного обміну й сервітутів, у другому – ні. Перше село здатне гнучко оптимізувати структуру землекористування під нові культури, логістику й екологічні вимоги; друге залишається в пастці фрагментації, хоча «на плані» виглядає впорядковано.
5	Цифровізація змінює онтологію меж, але не усуває конфліктів інтересів	Перенесення меж у цифрове середовище (ГІС, кадастрові бази, смарт-контракти) змінює спосіб їхнього існування: вони стають одночасно правовими та алгоритмічними сутностями. Проте конфлікти інтересів, асиметрія інформації та потреба в інституційній легітимації нікуди не зникають – змінюється лише форма їх прояву.	Оцифрування державного земельного кадастру: межі ділянок стають доступними онлайн, але спори між сусідами щодо «правильного» проходження лінії не зникають. Навпаки, з'являються нові питання: якій цифровій трасі довіряти, як виправляти помилки в даних, хто відповідає за трансляцію правової реальності в код.

№	Аксіома теорії сучасного землеустрою	Зміст	Ілюстративний приклад застосування аксіоми
6	Обмеження у землекористуванні є легітимним інструментом узгодження інтересів і зниження ризиків, за умови процедурної справедливості	Будь-яке обмеження – це не «покарання власника», а спроба відбалансувати приватні вигоди та публічні/колективні витрати (екологічні, соціальні, інфраструктурні). Воно є аксіоматично допустимим лише тоді, коли: а) обгрунтоване публічним інтересом, б) пропорційне, в) спирається на докази, г) прийняте у справедливій процедурі.	Введення зони обмеженої забудови біля аеропорту: власник втрачає можливість будувати висотні будинки, але суспільство отримує менші ризики авіаційних інцидентів та шумове навантаження. Якщо власника було поінформовано, йому компенсовано втрати (чи надані альтернативні можливості), а рішення прийнято прозоро, обмеження є легітимним інструментом управління простором.
7	Колективна дія є необхідною умовою стійких просторових режимів	Жоден просторовий режим (від зрощувальної системи до зеленої інфраструктури) не може підтримуватися виключно індивідуальними рішеннями власників. Потрібні інституційні механізми кооперації, розподілу витрат і вигод, нагляду й санкцій. Землеустрій працює з простором саме як з полем організованої колективної дії.	Формування спільного польового шляху чи захисної лісосмуги: окремий власник не має стимулу жертвувати частиною площі, якщо не впевнений, що сусіди зроблять те саме. Лише через інструменти землеустрою (план консолідації, договори, сервітутні коридори, компенсації) вдається створити й утримувати просторовий режим, який вигідний усім, але вимагає колективної дії.
8	Ризик і стійкість є внутрішніми характеристиками просторових режимів, а не зовнішніми «факторами»	Кожен режим землекористування закладає певну конфігурацію ризиків (повені, зсуви, ринкова волатильність, регуляторні зміни) і стійкісних резервів (буферні зони, альтернативні сценарії використання, можливість оперативної зміни правил). Землеустрій має оцінювати й формувати ці конфігурації, а не лише «фіксувати» існуюче становище.	Розміщення нової житлової забудови в заплаві річки: при суто геометричному підході важлива лише можливість фізично розмістити будинки. При аксіоматичному підході землевпорядник аналізує ризик підтоплення, необхідність буферних зон, альтернативні варіанти забудови на більш стійких територіях. Режим розглядається крізь призму вбудованого ризику й стійкості.

Примітка: авторська розробка.

в теорії сучасного землеустрою не зводяться до набору технічних прийомів або окремих процедур (знімання, картографування, розрахунків), а виступають як цілісні епістемологічні схеми, через які дисципліна перетворює територіальні факти на осмислені просторові режими, норми та проекти майбутнього.

Методи дослідження теорії землеустрою можна визначити як **системи прийомів і процедур, спрямовані на виявлення, моделювання та оцінювання просторових режимів землекористування в їх правовому,**

економічному, екологічному та інституційному вимірах. Вони забезпечують зв'язок між аксіомами (уявленням про багатовимірність меж, емерджентність цінності, роль інституційного дизайну) та практикою (проектуванням меж, зон, коридорів, обмежень і механізмів колективної дії). Для сучасного землеустрою принципово, що методологічний інструментарій є міждисциплінарним: він поєднує правовий аналіз, економічне моделювання, інституційну діагностику, просторову статистику, топологію, екологічне рахівництво,

алгоритмічні підходи й процедурні механізми справедливості. Саме така методологічна «зв'язка» дозволяє розглядати межу не лише як лінію на карті, а як складну подію, що змінює розподіл прав, рент, ризиків і відпові-

дальностей.

У порядку обговорення авторами пропонується систематизований перелік ключових методів в теорії сучасного землеустрою як наукової дисципліни (див. табл. 2).

Таблиця 2. Методи дослідження в теорії сучасного землеустрою

№	Методи дослідження в теорії землеустрою	Зміст методу	Типові завдання та результат
1	Інституційний аналіз просторових режимів	Вивчення формальних і неформальних правил, які визначають доступ до простору, способи користування, санкції та механізми вирішення конфліктів. Метод фокусується на тому, хто, за яких умов і як саме може змінювати межі, режими та обмеження, а також які трансакційні витрати й інформаційні асиметрії при цьому виникають.	Ідентифікація «вузьких місць» у процедурі зміни цільового призначення земель, аналіз конфліктів між органами влади та власниками щодо встановлення охоронних зон, розроблення інституційної архітектури проєктів консолідації земель.
2	Теоретико-правовий (догматичний) метод	Системний аналіз правових норм, доктрин та судової практики з метою виявлення внутрішніх суперечностей, прогалин і потенціалу для формалізації просторових режимів та об'єктів права. Метод дозволяє узгоджувати понятійний апарат (ділянка, зона, коридор, сервітут, обмеження) із фактичною просторовою реальністю.	Уточнення правового статусу підземних і надземних об'єктів (3D-нерухомість), розроблення моделей сервітутних коридорів для інфраструктурних об'єктів, формулювання правових режимів для «буферних» та адаптивних зон.
3	Просторово-економічне моделювання рент і цінності	Оцінювання та моделювання просторової цінності як функції правил і очікувань: поєднання ринкових цін, регуляторної рідкості, мережевих ефектів, екосистемних послуг та опціонних вартостей. Метод дозволяє аналізувати, як зміна режиму (зонування, обмежень) трансформує структуру рент і стимулів.	Оцінювання впливу змін зонування на вартість землі в міській агломерації, моделювання ефектів від запровадження зеленої інфраструктури, аналіз справедливості розподілу приросту вартості між приватними власниками та суспільством.
4	Топологічний та мережевий аналіз простору	Розгляд простору не як сукупності ізольованих ділянок, а як мережі відносин (сусідства, доступу, потоків), де межі визначають не лише «контури», а й структурну позицію об'єктів. Метод виявляє, як конфігурація мереж (дороги, коридори, зелена інфраструктура) впливає на доступність, рент, ризики й стійкість.	Оптимізація конфігурації польових шляхів і сервітутних коридорів, аналіз впливу нової транспортної магістралі на просторову структуру рент, планування зв'язної екологічної мережі (екокоридори, охоронні території).
5	Екологічні рахунки і оцінка екосистемних послуг	Кількісна й якісна оцінка екосистемних функцій (водорегулювання, біорізноманіття, рекреація тощо) як невід'ємної складової	Порівняння сценаріїв землекористування з точки зору втрати/збереження екосистемних послуг, обґрунтування природоохоронних та водоохоронних

№	Методи дослідження в теорії землеустрою	Зміст методу	Типові завдання та результат
		просторової цінності. Метод інтегрує екологічні показники в проєкти землеустрою, розглядаючи обмеження та режими як інструменти збереження й відтворення екосистемних послуг.	обмежень, розроблення схем компенсацій за екологічні збитки.
6	Геоінформаційне моделювання та цифровий кадастровий аналіз	Використання ГІС, просторових баз даних і цифрових кадастрів для моделювання багатопарових просторових режимів, аналізу накладання прав, обмежень і ризиків, а також для візуалізації сценаріїв трансформації меж. Метод актуалізує аксіому про зміну онтології меж у цифровому середовищі.	Побудова комплексних кадастрових карт, що відображають одночасно приватні права, публічні обмеження й зони ризику; моделювання 3D/4D-об'єктів нерухомості; оцінка конфліктності накладання режимів (наприклад, забудова – підтоплення – охоронна зона).
7	Алгоритмічно-аналітичні методи врядування (data-driven governance)	Застосування алгоритмів (у т. ч. машинного навчання) для аналізу великих масивів просторових даних, прогнозування тенденцій землекористування, виявлення аномалій та підтримки прийняття рішень. Метод вимагає постійної рефлексії щодо прозорості, підзвітності й недискримінаційності алгоритмів.	Автоматизований вияв «гарячих точок» незаконної забудови, прогноз зміни землекористування під дією інфраструктурних проєктів, підтримка рішень щодо пріоритетизації заходів з консолідації чи рекультивації земель.
8	Сценарний та стратегічно-прогностичний аналіз	Розроблення альтернативних сценаріїв просторового розвитку з урахуванням різних комбінацій правил, інвестицій, екологічних та соціальних трендів. Метод дозволяє оцінювати довгострокові наслідки рішень щодо меж, зонування та обмежень, виходячи з аксіоми про багаточасовість простору.	Порівняння сценаріїв розширення міста (ущільнення, субурбанізація, розвиток уздовж транспортних коридорів), моделювання наслідків зміни аграрної політики для структури сільських територій, оцінка довгострокових ризиків урбанізації заплав.
9	Методи процедурної та просторової справедливості (participatory planning)	Організація залучення заінтересованих сторін, публічних консультацій, медіації та колективного прийняття рішень щодо просторових режимів. Метод забезпечує легітимність обмежень і розподілу вигод/витрат, втілюючи аксіому про колективну дію як умову стійких режимів.	Проведення громадських слухань щодо встановлення санітарно-захисних зон, фасилітовані переговори при спільних проєктах консолідації, формування «суспільного договору» щодо режимів використання прибережних територій або зелених зон.
10	Комплексний землепорядний проєктний метод	Інтеграція правових, економічних, екологічних, соціальних і технічних аналізів у єдиному проєкті землеустрою, що перетворює теоретичні аксіоми й методи на конкретну просторову конфігурацію меж, режимів і механізмів реалізації. Це «збірний» метод, у якому синтезуються результати попередніх.	Розроблення проєкту землеустрою щодо впорядкування території громади: визначення функціональних зон, сервітутних коридорів, природоохоронних обмежень, механізмів перерозподілу рент і компенсацій, інструментів реалізації (договори, місцеві правила, цифрові сервіси).

Примітка: авторська розробка.

Запропонований перелік методів демонструє, що сучасний землеустрій як наукова дисципліна виходить далеко за межі «класичної» техніко-кадастрової парадигми до сучасної (простір – територія – система землекористування – режим землекористування – земельна ділянка). Методи дослідження тут – це не лише набір операційних кроків, а спосіб мислення про простір як складну, багатовимірну й аксіологічно насичену систему. Інституційний, правовий, економічний, екологічний, цифровий та процедурний виміри взаємодоповнюють один одного, дозволяючи землевпоряднику діяти не як «кресляр меж», а як архітектор просторових режимів, здатний усвідомлено керувати цінністю, ризиками й справедливістю у просторі. Саме через таку методологічну оптику теорія землеустрою набуває статусу повноцінної фундаментальної науки, а не просто прикладної технічної діяльності.

Теорія землеустрою перебуває сьогодні в ситуації «накопиченої практики й фрагментарної концептуалізації»: на рівні інструментів та нормативних рамок досягнуто значного прогресу, однак онтологічні, аксіологічні та методологічні підвалини залишаються неповно визначеними. Саме тому необхідно окреслити орієнтовне коло теоретичних проблем, розв'язання яких є передумовою становлення внутрішньо несуперечливої теорії сучасного землеустрою як науки про просторові режими, межі, цінність і ризики.

Авторами здійснена спроба у порядку обговорення узагальнити ключові наукові проблем, сформульовані напрями дослідження теорії землеустрою щодо меж, управління просторовою цінністю та легітимних

обмежень у землекористуванні. Кожен з них може розглядатися не лише як абстрактна інтелектуальна задача, а й «пояснювальний вузол», від вирішення якого залежить якість рішень у практиці землеустрою, справедливості розподілу вигод і витрат у просторі та стійкості територіальних систем до шоків і невизначеностей (див. табл. 3).

Сукупність окреслених проблем демонструє, що сучасна теорія землеустрою має справу не лише з «технікою» в частині визначення меж і розроблення планів, а з глибоко онтологічними, аксіологічними й етичними питаннями: що таке межа як відношення; як у просторі кристалізуються права, ренти, ризики й форми колективної дії; яким чином цифрові та алгоритмічні системи змінюють саму природу просторового порядку; де проходить межа між допустимим обмеженням і просторовою несправедливістю. Усвідомлення й системна теоретична розробка цих проблем є необхідною умовою для того, щоб землеустрій остаточно вийшов із тіні прикладної дисципліни й утвердився як повноцінна сучасна наука про формування та управління цінністю простору.

Висновки з проведеного дослідження

Проведене дослідження засвідчило, що сучасний землеустрій за своїм змістом давно вийшов за межі техніко-прикладної дисципліни в частині визначення меж об'єктів землеустрою та повинен розглядатися як фундаментальна наука про формування та управління цінністю простору. Показано, що об'єктом теорії землеустрою є не «земельна ділянка» як геометрич-

Таблиця 3. Ключові наукові проблеми в теорії сучасного землеустрою

№	Наукова проблема	Сутність проблеми	Актуальність проблеми
1	Онтологічна «товщина» меж	Переважає більшість моделей оперує межею як лінією без товщини, тоді як у реальності межі функціонують як об'єми з різними режимами всередині та по обидва боки (буфери, санітарні й охоронні смуги, прибережні зони тощо). Відсутній формалізм, який дозволяє описувати «товсті межі» як тривимірні (або навіть чотиривимірні) об'єкти з власною внутрішньою структурою режимів.	Без теорії «товстих меж» будь-яке зонування неминує спрощує конфлікти суміжності (промислова зона – житлова, сільське господарство – екосистема), що веде до зростання ризиків і судових спорів. Формалізація товщини межі потрібна для коректного проектування буферів, розрахунку компенсацій і моделювання реальної просторової взаємодії режимів.
2	Вертикальна стратифікація прав	Земля фактично використовується як багатшаровий ресурс: поверхня, надра, підземні споруди, підповерхневі потоки, повітряний простір (зокрема коридори дронів). Немає єдиної теоретичної моделі, яка б узгоджувала ці шари в рамках одного простору прав, обмежень і рент.	Відсутність узгодженої моделі веде до колізій (наприклад, між власником поверхневої ділянки, оператором підземної інфраструктури та користувачем повітряного коридору), ускладнює впровадження 3D/4D-кадастру й гальмує розвиток нових форм використання простору (геотермальні системи, підземний урбанізм, безпілотна логістика).
3	Часова динаміка просторових режимів	Бракує формалізму «часових меж» і «фазових переходів» режимів: тимчасові зони, поетапні зміни функціонального призначення, умовні режими, що спрацьовують за тригерами (ризик, інвестиції, екологічний стан), описуються фрагментарно.	Сучасні рішення землеустрою все частіше мають реалізовуватися по фазах і в умовах невизначеності. Без теорії часової динаміки неможливо коректно проектувати тимчасові обмеження, мораторії, адаптивні режими та механізми «м'якого переходу» між несумісними видами використання.
4	Мультиюрисдикційне накладання режимів	Один і той самий простір одночасно підпадає під дію національних, регіональних, муніципальних і спеціальних (екологічних, інфраструктурних, охоронних) режимів. Не існує сталої «алгебри сумісності» для їх поєднання без колізій і «мертвих зон» управління.	В умовах децентралізації та поліцентричного врядування накладання режимів стає нормою. Відсутність формалізованих правил їх комбінування призводить до правової невизначеності, затримок у прийнятті рішень, дублювання контролю й до прогалин, де фактично ніхто не несе відповідальності.
5	Ціноутворення на просторові зовнішні ефекти	Шум, затори, теплові острови, затоплення, втрата біорізноманіття та інші просторові зовнішні ефекти системно не враховуються в прийнятті землепорядних рішень і в рентних моделях. Немає усталених методів внутрішнього ціноутворення цих ефектів у конкретних проектах землеустрою.	Без внутрішнього врахування зовнішніх ефектів рішення, які виглядають «вигідними» локально, формують значні суспільні витрати в майбутньому. Теоретично вивірені методи ціноутворення дозволять інтегрувати екологічні й соціальні витрати/вигоди в структуру рент і механізми компенсації.
6	Облік екосистемних послуг у ренті та кадастрі	Екосистемні послуги (водорегулювання, рекреація, підтримка ґрунтів, біорізноманіття) переважно залишаються «невидимими» для кадастрової вартості та договорів.	Без інкорпорації екосистемних послуг у ренту землеустрій фактично стимулює їх деградацію, оскільки ринкова логіка «не бачить» їхньої цінності. Теоретичне розв'язання цієї проблеми є ключовою умовою переходу до реально сталого землекористування.

№	Наукова проблема	Сутність проблеми	Актуальність проблеми
		Відсутні стандартизовані підходи до їх інтеграції у вартісні моделі й правові режими.	
7	Опціонність і глибока невизначеність у землекористуванні	Реальні опції (можливість змінити режим використання пізніше) та глибока невизначеність (клімат, технології, демографія) майже не враховуються в класичних схемах планування й оцінки. Немає адаптованих до землеустрою моделей управління опціонністю.	Ігнорування опціонності веде до надмірно жорстких або, навпаки, надто інерційних режимів, які погано реагують на шоки. Теоретичне осмислення опціонності дає змогу проєктувати простір так, щоб зберігати «коридори можливостей» для майбутніх поколінь і нових технологій.
8	Справедливий розподіл приросту просторової вартості (value capture)	Приріст вартості землі, зумовлений публічними інвестиціями чи зміною правил (зонування, інфраструктура), переважно привласнюється приватними власниками. Не сформовано чітких принципів та інструментів справедливого розподілу цього приросту між приватними особами, громадами й державою.	Без теорії справедливого «захоплення приросту цінності» землеустрій відтворює просторову нерівність і спекулятивні бульбашки. Прозорі механізми розподілу вигод є ключем до суспільної легітимності рішень щодо зонування, консолідації та масштабних просторових трансформацій.
9	Конфлікти прав і колективна дія	Багато просторових режимів (зрошення, спільні шляхи, зелені коридори) вимагають колективних рішень і спільного управління. Немає достатньо розроблених моделей, які б поєднували індивідуальні права з інструментами співуправління без надмірних трансакційних витрат.	Без теоретично вивірених механізмів колективної дії проєкти консолідації, екологічної мережі чи спільної інфраструктури буксують, попри очевидну вигоду для всіх сторін. Це критично обмежує здатність громад реалізовувати складні просторові проєкти.
10	Алгоритмічне врядування межами й режимами	Все більше рішень (зонування, дозвільні процедури, моніторинг) делегуються алгоритмам та інформаційним системам. Відсутня теорія верифікації, аудиту, підзвітності та запобігання системній упередженості таких алгоритмів у контексті землеустрою.	Якщо алгоритми залишаються «чорними скриньками», вони можуть відтворювати або підсилювати просторову нерівність, дискримінацію та корупційні практики. Теоретичні засади алгоритмічного врядування є умовою довіри до цифрових систем землеустрою та кадастру.
11	Правова інтероперабельність просторових даних	Цифрові записи прав і обмежень мігрують між системами (кадастр, реєстр прав, містобудівний кадастр, ГІС громад). Немає завершеної теорії, як забезпечити юридичну силу, простежуваність і сталість цих записів при технічних змінах.	Без правової інтероперабельності даних межі й титули «ламаються» при кожній модернізації систем, що підриває довіру та генерує ризики для всіх суб'єктів. Теорія інтероперабельності є основою для моделей «живого кадастру» та довгострокової стабільності прав.
12	Резилієнтність просторових режимів до кліматичних шоків	Класичні схеми землекористування будувалися, виходячи з відносно стабільного клімату. В умовах зростання частоти паводків, посух, зсувів відсутня розроблена теорія адаптивних меж і режимів, що змінюються залежно від тригерів ризику.	Без включення кліматичної динаміки в теорію режимів землеустрій відтворює вразливі конфігурації, які стають небезпечними для життя, інфраструктури та економіки. Потрібні моделі, де зміна ризику автоматично транслюється в корекцію меж, обмежень і режимів.

№	Наукова проблема	Сутність проблеми	Актуальність проблеми
13	Буферні та перехідні простори («м'які зони»)	Проміжні простори між несумісними видами використання (промисловість – житло, інтенсивне землеробство – природні оселища) майже не мають власної теорії. Відсутні критерії оптимальної ширини, строків дії та компенсаційних механізмів для буферних зон.	Неправильно спроектовані або відсутні буфери ведуть до конфліктів, деградації довкілля та зниження вартості прилеглої нерухомості. Теорія «м'яких зон» є ключем до зниження конфліктності простору й підвищення його стійкості.
14	Права корінних і локальних громад у статичних кадастрах	Традиційні, сезонні, мобільні форми користування (маршрути випасу, рибальські угіддя, сакральні території) погано вкладаються в статичну логіку «ділянка–власник». Немає узгодженої теорії формалізації колективних і неklasичних прав у рамках кадастру.	Ігнорування таких прав породжує глибинні конфлікти, делегітимізує проекти управління ресурсами та веде до втрати культурної й екологічної спадщини. Теоретичне рішення цієї проблеми – ключ до інклюзивного й справедливого землеустрою.
15	Коридори інфраструктур і сервітутні мережі	Лінійні об'єкти (дороги, ЛЕП, трубопроводи, волоконно-оптичні мережі) та пов'язані з ними сервітутні права формують складні коридори з багаренним використанням. Відсутні загальні моделі їхнього проектування з мінімумом конфліктів і максимумом сумісності.	Без такої теорії інфраструктурні коридори часто створюють надлишкову фрагментацію території, блокують майбутні використання та генерують значні соціально-економічні конфлікти. Оптимізовані моделі коридорів здатні радикально підвищити ефективність і справедливість просторових рішень.
16	Баланс публічного доступу й приватної охорони	Питання відкритості ландшафтів (доступ до берегів, лісів, рекреаційних просторів) постійно конфліктує з інтересами приватної ексклюзивності й безпеки. Бракує теоретично вивірених стандартів доступу, компенсації та страхування в цих ситуаціях.	Невирішеність цієї проблеми обертається хронічними конфліктами між громадами й власниками, обмеженням соціальної справедливості й деградацією публічного простору. Якісні моделі балансу дозволять мінімізувати конфлікти та забезпечити легітимність режимів доступу.
17	Антиспекулятивні просторові режими	Спекулятивні стратегії (утримання «порожніх» ділянок, штучне блокування розвитку, формування бульбашок) руйнують логіку раціонального землекористування. Немає узгодженого теоретичного арсеналу антиспекулятивних правил, які б не знищували інвестиційні стимули.	Без збалансованих антиспекулятивних режимів міста й громади втрачають значні ресурси, просторовий розвиток стає хаотичним, а ринки землі – нестабільними. Теорія таких режимів – основа для довгострокової стабільності й справедливості ринку.
18	Моделі «живого кадастру»	Традиційний кадастр працює як періодично оновлювана «фотографія» стану меж і прав. У цифровому середовищі можлива модель безперервного оновлення (near real-time), але немає теоретичних основ такого «живого кадастру» з доказовим журналом змін і надійними «ораклами даних».	Без концепції «живого кадастру» цифровізація обмежується косметичними поліпшеннями. Теорія безперервного оновлення необхідна для своєчасного відображення фактичних змін, зниження правової невизначеності та підтримки динамічних режимів (тимчасові обмеження, адаптивні зони).
19	Квантифікація правової невизначеності в просторі	Межева невизначеність, неузгодженість титулів, неповнота записів – усе це впливає на рішення, але здебільшого	Якщо правову невизначеність не можна виміряти, її не можна системно врахувати в ціноутворенні, страхуванні,

№	Наукова проблема	Сутність проблеми	Актуальність проблеми
		залишається «якісною» характеристикою. Відсутні загальноприйняті метрики, які б дозволяли вимірювати правову невизначеність і включати її в моделі оцінки та ризик-менеджменту.	інвестиційних рішеннях і пріоритетизації державних інтервенцій. Теоретична розробка метрик невизначеності – необхідна умова зрілого управління просторовими ризиками.
20	Етика просторового регулювання та просторової справедливості	Режими землекористування рідко є нейтральними: різні квартали, громади, групи населення отримують різні набори прав, обмежень і ризиків. Не існує усталених етичних критеріїв, які б дозволяли оцінювати легітимність неоднакових режимів, принципи недискримінації й обов’язкової участі.	Без чітко артикульованої етики просторового регулювання землеустрій ризикує стати технічною ширмою для відтворення нерівності та просторової сегрегації. Розроблення таких критеріїв є ключем до довіри, соціальної згуртованості та довгострокової політичної стабільності просторових рішень.

Примітка: авторська розробка.

ний контур, а «земля» як унікальний природний ресурс, а багатовимірний соціально-просторовий континуум, у якому функціонує система (простір – територія – система землекористування – режим землекористування – земельна ділянка), яка характеризується полем прав, обмежень, режимів, рент і ризиків. Предмет теорії окреслено як виникнення, структура й динаміка просторових режимів землекористування – конфігурацій правових титулів, сервітутів, зон, коридорів і резервувань, які функціонують у системі (простір – територія – система землекористування – режим землекористування – земельна ділянка) та багаточасовому вимірах. У цьому контексті межа інтерпретується не як лінія, а як відношення – онто-правова подія, що створює різницю в доступі, рентах, ризиках і можливостях колективної дії.

Сформульовано аксіоматичне ядро теорії сучасного землеустрою, яке фіксує конститутивну роль меж об’єктів землеустрою для прав і рент, багатовимірний характер будь-якої межі (топологічний, правовий, екологічний, часовий), емерджентну при-

роду просторової цінності як функції правил і очікувань, визначальну роль інституційного дизайну й керованої невизначеності, а також трансформувальний, але не «умиротворювальний» характер цифровізації меж. На цій основі обґрунтовано систему методів дослідження теорії землеустрою – від інституційного аналізу та теоретико-правового осмислення режимів до просторово-економічного моделювання рент, топологічних і мережевих підходів, екологічного рахівництва, геоінформаційного та алгоритмічного аналізу, сценарного планування й процедурної справедливості. Показано, що саме інтеграція цих методів перетворює землевпорядну практику з «креслення меж об’єктів землеустрою» на раціонально організований процес проєктування й підтримання просторових режимів, здатних поєднувати ефективність, стійкість і справедливість.

Доведено, що теоретичний розвиток землеустрою наразі стримується цілою низкою системних наукових проблем – від онтологічної «товщини» меж об’єктів землеустрою, вертикальної стратифікації прав і часової

динаміки режимів до мультиюрисдикційного накладання, ціноутворення на просторові зовнішні ефекти, інкорпорації екосистемних послуг у ренту, опціонності під глибокою невизначеністю, справедливого розподілу приросту просторової вартості, алгоритмічного врядування, правової інтероперабельності даних, резилієнтності до кліматичних шоків, прав корінних і локальних громад, «живого кадастру» та етики просторового регулювання. Їхня системна теоретична розробка повинна стати ядром подальших досліджень, спрямованих на формування внутрішньо несуперечливої та методологічно цілісної теорії сучасного землеустрою. У підсумку саме така теорія здатна забезпечити перехід від фрагментарного нормативно-технічного підходу до інституційно зрілого просторового врядування, де земля як унікальний природний актив усвідомлюється як носії правил, очікувань, цінностей і відповідальностей, а не лише як об'єкти обліку й транзакцій.

Список використаної літератури

1. Dale P., McLaughlin J. Land Administration. Oxford : Oxford University Press, 2000. URL: <https://global.oup.com> (дата звернення: 10.12.2025).
2. Williamson I. P., Enemark S., Wallace J., Rajabifard A. Land Administration for Sustainable Development. Redlands, CA : ESRI Press Academic, 2010. URL: <https://esripress.esri.com> (дата звернення: 10.12.2025).
3. Bennett R., Wallace J., Williamson I. Organising land information for sustainable land administration. *Land Use Policy*. 2008. Vol. 25, No. 1. P. 126–138. DOI: 10.1016/j.landusepol.2007.03.006.
4. Enemark S., Williamson I., Wallace J. Building modern land administration systems in developed economies. *Journal of Spatial Science*. 2005. Vol. 50, No. 2. P. 51–68. DOI: 10.1080/14498596.2005.9635042.
5. Kaufmann J., Steudler D. Cadastre 2014 – A Vision for a Future Cadastral System. FIG, 1998. 44 p. URL: <https://www.fig.net/resources/publications/figpub/cadastre2014.pdf> (дата звернення: 10.12.2025).
6. Steudler D. (ed.). Cadastre 2014 and Beyond. FIG Publication No. 61. Copenhagen: FIG, 2014. URL: <https://www.fig.net/resources/publications/figpub/pub61/figpub61.pdf> (дата звернення: 10.12.2025).
7. ISO 19152:2012. Geographic information. Land Administration Domain Model (LADM). Geneva : ISO, 2012. URL: <https://www.iso.org/standard/51206.html> (дата звернення: 10.12.2025).
8. van Oosterom P. J. M., Lemmen C. The Land Administration Domain Model (LADM): Motivation, standardisation, application and further development. *Land Use Policy*. 2015. Vol. 49. P. 527–534. DOI: 10.1016/j.landusepol.2015.01.014.
9. Enemark S., Bell K. C., Lemmen C., McLaren R. Fit-For-Purpose Land Administration. FIG Publication No. 60. Copenhagen : FIG; World Bank, 2014. URL: <https://www.fig.net/resources/publications/figpub/pub60/figpub60.asp> (дата звернення: 10.12.2025).
10. Enemark S., McLaren R., Lemmen C. Fit-for-Purpose Land Administration-Providing Secure Land Rights at Scale. *Land*. 2021. Vol. 10, No. 9. 972. DOI: 10.3390/land10090972.
11. FAO. Voluntary Guidelines on the Responsible Governance of Tenure of Land, Fisheries and Forests in the Context of National Food Security. Rome : FAO, 2012. URL: <https://www.fao.org/tenure/voluntary-guidelines/en> (дата звернення: 10.12.2025).
12. UN-GGIM. Framework for Effective Land

- Administration (FELA). New York : UN-GGIM, 2020. URL: <https://ggim.un.org/FELA> (дата звернення: 10.12.2025).
13. Ostrom E. Governing the Commons: The Evolution of Institutions for Collective Action. Cambridge : Cambridge University Press, 1990. URL: <https://www.cambridge.org/core/books/governing-the-commons/> (дата звернення: 10.12.2025).
 14. Alexander E. R. The public interest in planning: From legitimation to substantive plan evaluation. *Planning Theory*. 2002. Vol. 1, No. 3. P. 226–249. DOI: 10.1177/147309520200100303.
 15. Pašakarnis G., Maliene V. Towards sustainable rural development in Central and Eastern Europe: Applying land consolidation. *Land Use Policy*. 2010. Vol. 27, No. 2. P. 545–549. DOI: 10.1016/j.landusepol.2009.07.008.
 16. Третяк А. М. Управління земельними ресурсами та землекористуванням: базові засади теорії, інституціалізації, практики: монографія / А.М. Третяк, В.М. Третяк, Р.М. Курильців, Т.М. Прядка, Н.А. Третяк; [за заг. ред. А.М. Третяка]. Біла Церква: «ТОВ «Білоцерківдрук», 2021. 227 с
 17. Третяк А. М. Землевпорядкування в Україні: розвиток на засадах новітньої інституціонально-поведінкової теорії. монографія / А.М. Третяк, В.М. Третяк, Т.М. Прядка, Л.А. Гунько, Н.А. Третяк; [за заг. ред. А.М. Третяка]. Біла Церква: «ТОВ «Білоцерківдрук», 2023. 213 с.
 18. Третяк А. М. Парадигма розвитку сучасної теорії землеустрою в Україні. *Землевпорядний вісник*. 2016. № 9. С. 20–23.
 19. Третяк А. М., Третяк В. М, Лобулько А. В., Лобулько Ю.В. Оцінка вартості підтипів землекористування сільськогосподарського призначення в проектах консолідації земель. *Агросвіт*. № 11. 2025. с. 26-32
 20. Шипулін В. Д. Система земельного адміністрування: основи сучасної теорії : навч. посібник. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2016. 220 с.
 21. Дорош Й.М. Землеустрій як основоположний механізм формування земельних відносин в умовах трансформаційної економіки. *Землеустрій, кадастр і моніторинг земель*. 2012. № 1-2. С. 6-14.
 22. Перович Л. М., Сай В. М., Маланчук М. С. Теоретичні засади землеустрою : навч. посіб. Львів : Вид-во Львів. політехніки, 2015., 236 с.
 23. Zevenbergen J., Augustinus C., Antonio D., Bennett R. Pro-poor land administration: Principles for recording the land rights of the underrepresented. *Land Use Policy*. 2013. Vol. 31. P. 595–604. DOI: 10.1016/j.landusepol.2012.09.005.
-

References

1. Dale, P., & McLaughlin, J. (2000). Land administration. Oxford: Oxford University Press. Available at: <https://global.oup.com>
2. Williamson, I. P., Enemark, S., Wallace, J., & Rajabifard, A. (2010). Land administration for sustainable development. Redlands, CA: ESRI Press Academic. Available at: <https://esripress.esri.com>
3. Bennett, R., Wallace, J., & Williamson, I. (2008). Organising land information for sustainable land administration. *Land Use Policy*, 25(1), 126–138. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2007.03.006>
4. Enemark, S., Williamson, I., & Wallace, J. (2005). Building modern land administration systems in developed economies. *Journal of Spatial Science*, 50(2), 51–68. DOI: <https://doi.org/10.1080/14498596.2005.9635042>
5. Kaufmann, J., & Steudler, D. (1998). Cadastre 2014 – A vision for a future cadastral system. FIG. Available at: <https://www.fig.net/resources/publications/figpub/cadastre2014.pdf>
6. Steudler, D. (Ed.). (2014). Cadastre 2014 and beyond (FIG Publication No. 61). Co-

- penhagen: FIG. Available at: <https://www.fig.net/resources/publications/figpub/pub61/figpub61.pdf>
7. International Organization for Standardization. (2012). ISO 19152:2012 Geographic information - Land Administration Domain Model (LADM). Geneva: ISO. Available at: <https://www.iso.org/standard/51206.html>
8. Oosterom, P. J. M., & Lemmen, C. (2015). The Land Administration Domain Model (LADM): Motivation, standardisation, application and further development. *Land Use Policy*, 49, 527–534. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2015.01.014>
9. Enemark, S., Bell, K. C., Lemmen, C., & McLaren, R. (2014). Fit-for-purpose land administration (FIG Publication No. 60). Copenhagen: FIG; World Bank. Available at: <https://www.fig.net/resources/publications/figpub/pub60/figpub60.asp>
10. Enemark, S., McLaren, R., & Lemmen, C. (2021). Fit-for-purpose land administration-Providing secure land rights at scale. *Land*, 10(9), 972. DOI: <https://doi.org/10.3390/land10090972>
11. Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2012). Voluntary guidelines on the responsible governance of tenure of land, fisheries and forests in the context of national food security. Rome: FAO. Available at: <https://www.fao.org/tenure/voluntary-guidelines/en>
12. United Nations Committee of Experts on Global Geospatial Information Management. (2020). Framework for effective land administration (FELA). New York: UN-GGIM. Available at: <https://ggim.un.org/FELA>
13. Ostrom, E. (1990). Governing the commons: The evolution of institutions for collective action. Cambridge: Cambridge University Press. Available at: <https://www.cambridge.org/core/books/governing-the-commons/>
14. Alexander, E. R. (2002). The public interest in planning: From legitimation to substantive plan evaluation. *Planning Theory*, 1(3), 226–249. DOI: <https://doi.org/10.1177/147309520200100303>
15. Pasakarnis, G., & Maliene, V. (2010). Towards sustainable rural development in Central and Eastern Europe: Applying land consolidation. *Land Use Policy*, 27(2), 545–549. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2009.07.008>
16. Tretiak, A. M., Tretiak, V. M., Kuryltsiv, R. M., Priadka, T. M. & Tretiak, N. A. (2021). Upravlinnia zemel'nykh resursamy ta zemlekorystuvanniam: bazovi zasady teorii, instytutsiolizatsii, praktyky [Management of land resources and land use: basic principles of theory, institutionalization, practice], Bilotserkivdruk, Bila Tserkva, Ukraine, 227.
17. Tretiak, A.M., Tretiak, V.M., Priadka, T.M., Hunko L.A. & Tretiak, N.A. (2023). Zemlevporyadkuvannya v Ukraini: rozvytok na zasadakh novitn'oyi instytutsional'no-povedinkovoyi teorii [Land management in Ukraine: development based on the latest institutional and behavioral theory], Bilotserkivdruk, Bila Tserkva, Ukraine, 213.
18. Tretiak, A. M. (2016). Paradyhma rozvytku suchasnoi teorii zemleustroi v Ukraini [Paradigm of the development of modern land management theory in Ukraine]. *Land Management Bulletin*, 9, 20–23.
19. Tretiak, A.M., Tretiak, V.M., Lobunko, V. M. & Lobunko, Yu.V. (2025). Otsinka vartosti pidtypiv zemlekorystuvannya sil'skohospodars'koho pryznachennya v proektakh konsolidatsiyi zemel' [Assessment of the value of subtypes of agricultural land use in land consolidation projects]. *Agroworld*, 8, 30-37.
20. Shypulin, V. D. (2011). Systema zemel'noho administruvannya: osnovy suchasnoi teorii [Land administration system: basics of modern theory], KNUMH O.M. Beketova, Kharkiv, Ukraine, 220.
21. Dorosh, Y. M. (2012). Zemleustriy yak osnovopolozhnyy mekhanizm formuvannya

- zemel'nykh vidnosyn v umovakh transformatsiynoy ekonomiky [Land management as a fundamental mechanism for the formation of land relations in the context of a transformational economy]. *Zemleustriy, kadastr i monitorynh zemel'* [Land Management, Cadastre and Land Monitoring], 1-2, 6-14.
22. Perovych, L. M., Sai, V. M., & Malanchuk, M. S. (2015). *Teoretychni zasady zemleustroi: navchalnyi posibnyk* [Theoretical foundations of land management: Textbook]. Lviv: Vydavnytstvo Lvivskoi politekhniki, 236.
23. Zevenbergen, J., Augustinus, C., Antonio, D., & Bennett, R. (2013). Pro-poor land administration: Principles for recording the land rights of the underrepresented. *Land Use Policy*, 31, 595–604. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2012.09.005>
-

Martyn A., Hunko L., Zamlynskiy S.

TOWARDS A CONTEMPORARY THEORY OF LAND MANAGEMENT

LAND MANAGEMENT, CADASTRE AND LAND MONITORING 4'25: 19-42.

<http://dx.doi.org/10.31548/zemleustriy2025.04.02>

Abstract. *The article is devoted to the formation of the modern theory of land organisation as an independent fundamental scientific discipline through the systematic formulation of its subject and object, identification of leading theoretical models, articulation of the axiomatic basis, and organization of methodological tools capable of ensuring the transition from an ecosystem-technocratic understanding of space to its institutional-value comprehension. Building on a critical review of the international land administration paradigm, Ukrainian doctrinal contributions, institutional theory, property-rights theory, and spatial economics, the study refines the object and subject of land organisation are clarified: the object is defined as a multidimensional socio-spatial continuum in which territory is transformed into an ordered space of rights, restrictions, regimes, rents, and risks; the subject is the emergence, structure, and dynamics of land-use regimes as systems of legal titles, servitudes, zones, corridors, and reservations in a multi-layer (surface–subsurface–airspace) and multi-temporal configuration. An axiomatic core of contemporary land organisation theory is articulated. It is shown that its methodology must encompass institutional analysis, doctrinal legal reasoning on spatial regimes, spatial-economic rent modelling, topological and network approaches, environmental accounting, geoinformation and algorithmic modelling, scenario analysis, and procedures of spatial justice. The paper systematizes the kernel of scientific problems in land organisation theory whose resolution is a precondition for moving from fragmented normative–technical practice to institutionally mature spatial governance. The practical significance of the results lies in providing a conceptual framework for updating curricula, improving cadastral and planning systems, and designing standards for governing spatial value under conditions of digitalization and the growing importance of spatial justice.*

Keywords: *land organisation theory; spatial land-use regimes; boundaries and borders; spatial value; axiomatic framework of land organisation n; land administration methodology; digital cadastre; institutional design; spatial governance.*

КАДАСТР НЕРУХОМОСТІ В УКРАЇНІ

А.Ю. ГОРДЕЄВ,

доктор географічних наук, доцент кафедри геоінформатики

Email: drangoru@gmail.com

ORCID: 0000-0002-7263-0525

ННІ «Інститут геології» Київського національного університету
імені Тараса Шевченка

Л.В. ПЛІЧКО,

доктор філософії з галузі знань Природничі науки,

асистент кафедри геоінформатики

Email: plichkol@knu.ua

ORCID: 0000-0001-6779-0236

ННІ «Інститут геології» Київського національного університету
імені Тараса Шевченка

Анотація. У статті розглянуто процес створення кадастру нерухомості в Україні та напрямки розвитку на основі аналізу досвіду та практик Європейського Союзу. Наголошується, про важливість виправлення створених непорозумінь в цій сфері відносин щодо прийнятого в Україні і у Світі визначення поняття нерухомості враховуючи рекомендації Світового банку щодо об'єднання фрагментованих інституційних підходів до реєстрації майна, його оцінки та адміністрування податків. Акцентовано увагу на постійному розвитку інтеграційних процесів в цій сфері у країнах ЄС і Світі на базі узгодженого погляду на майбутній розвиток цих систем з урахуванням зроблених висновків практики втілення майбутнього бачення сучасного кадастру до 2014 та з точки зору на 2035 рік, а також на важливості приєднання України до цього процесу створення умов розвитку ринкових відносин та інвестиційної діяльності в Україні. Визначено, що стратегічним напрямом у контексті євроінтеграції є гармонізація кадастрової політики України зі стандартами ЄС. Запропоновано продовжити виконання Указу президента України щодо кадастрової системи від 2003 року шляхом створення багатофункціонального кадастру, який включатиме реєстри прав власності, кадастрову оцінку майна та інші державні реєстри і кадастри. Стаття підкреслює важливість уніфікації та модернізації системи для підвищення її ефективності та відповідності, заснованих на апробованих сучасних практиках, міжнародним вимогам.

Ключові слова: кадастр нерухомості, кадастрова система, Європейський Союз, земля, нерухоме майно.

Постановка проблеми

Кадастр нерухомості є ключовим інструментом в управлінні земельними та майновими ресурсами держави, що забезпечує правову визначеність, просторову впорядкованість та ефективне використання території. Крім того, кадастр нерухомості є юридичною основою права власності й економічним ресурсом, оскільки є підґрунтям для інвестиційного потенціалу країни, прозорого й сталого ринку нерухомості.

Згідно з частиною першою статті 181 Цивільного кодексу України [7]: «до нерухомого майна відносяться земельні ділянки та об'єкти, які розташовані на земельній ділянці, переміщення яких неможливе без їх знецінення та зміни їх призначення». Але, в національному законодавстві ще є протиставлення земельної ділянки нерухомому майну, а саме, при реєстрації прав на будівлі та споруди [2, Ст. 5]: «незалежно від реєстрації прав на земельну ділянку» та при оподаткуванні землі [8, Ст. 266]: «нерухомого майна, відмінного від земельних ділянок» (ще декілька протиставлень описані в статті [11]).

Ще у 2003 році, «відповідно до Цивільного кодексу України та з метою послідовної адаптації законодавства України, що регулює питання захисту права власності, до законодавства Європейського Союзу, вдосконалення системи обліку земельних ділянок та нерухомого майна, а також створення сприятливих умов для розвитку ринкових відносин та активізації інвестиційної діяльності в Україні» було видано Указ Президента [4], згідно з яким було прийнято Постанову КМУ [5].

Але згодом, Постановою КМУ

[3], це рішення було скасовано і у складі земельного кадастру залишилась тільки державна реєстрація земельної ділянки, яку здійснюють державні кадастрові реєстратори територіальних громад. А державна реєстрація речових прав на нерухоме майно та їх обтяжень випала з єдиної системи державної реєстрації у складі державного земельного кадастру відповідно до Указу.

Згідно зі статтею 1, пункт 1, дія Закону України «Про державну реєстрацію речових прав на нерухоме майно та їх обтяжень» [2] поширюється на відносини, що виникають у сфері державної реєстрації речових прав на нерухоме майно, розміщене на території України, та обтяжень таких прав, тобто, згідно частині першій ст. 181 Цивільного кодексу України [7], а саме – на земельні ділянки та об'єкти, які розташовані на земельній ділянці, переміщення яких неможливе без їх знецінення та зміни їх призначення.

Таким чином, в Україні, на сьогодні, «єдиної системи державної реєстрації земельних ділянок, нерухомого майна та прав на них» немає, а Закон України «Про державну реєстрацію речових прав на нерухоме майно та їх обтяжень» відноситься тільки до однієї складової статті 181 Цивільного кодексу України [7]. Друга складова – земельні ділянки – реєструються в земельному кадастрі. Ця ситуація не відповідає меті щодо створення умов розвитку ринкових відносин та інвестиційної діяльності в Україні, згідно згаданого Указу Президента.

Отже, на сьогодні в Україні є «Державний земельний кадастр» і експериментальний проєкт щодо запровадження «Містобудівного кадастру»

(з вересня 2024 р.), які доповнюють один одного, а також «Державний реєстр речових прав на нерухоме майно». У кожного свої задачі та мета. Де Державна служба України з питань геодезії, картографії та кадастру відповідає за державну реєстрацію земельних ділянок, а за реєстрацію нерухомого майна, тобто [2, Ст. 5]: «об'єкти, розташовані на земельній ділянці, переміщення яких неможливе без їх знецінення та зміни його призначення» – відповідає Міністерство юстиції України та його територіальні органи.

В Законі України «Про Державний земельний кадастр» вказано, що [9]: «Державний земельний кадастр – єдина державна геоінформаційна система відомостей про землі, розташовані в межах державного кордону України, їх цільове призначення, обмеження у їх використанні, а також дані про кількісну і якісну характеристику земель, їх оцінку, про розподіл земель між власниками і користувачами, про меліоративні мережі та складові частини меліоративних мереж». Тобто, в Державному земельному кадастрі здійснюється реєстрація обмежень на використання земельних ділянок, що також реєструється в реєстрі речових прав.

Згідно з нормативними документами [1; 10]: «Містобудівний кадастр – державна або комунальна система зберігання та використання геопросторових даних про територію, адміністративно-територіальні одиниці, екологічні, інженерно-геологічні умови, будівельну діяльність, інформаційних ресурсів будівельних норм і правил для задоволення інформаційних потреб у плануванні територій та будівництві, формування галузевої складової державних геоінформаційних ресурсів». У складі

Містобудівного кадастру немає реєстрації нерухомого майна, тому його можна не враховувати.

В Законі України «Про державну реєстрацію речових прав на нерухоме майно та їх обтяжень» зазначено, що [2]: «державна реєстрація речових прав на нерухоме майно та їх обтяжень – офіційне визнання і підтвердження державою фактів набуття, зміни або припинення речових прав на нерухоме майно, обтяжень таких прав шляхом внесення відповідних відомостей до Державного реєстру речових прав на нерухоме майно». Тобто, в Державному реєстрі речових прав встановлюються речові права на нерухоме майно та їх обтяження, в тому числі на земельні ділянки.

З державним земельним кадастром в Україні співпрацює Державний реєстр речових прав на нерухоме майно, який у відповідності з Законом України [7]: «забезпечує обробку, збереження та надання відомостей про зареєстровані речові права на нерухоме майно та їх обтяження, про об'єкти та суб'єктів таких прав». У Державному реєстрі прав реєструються речові права та їх обтяження на земельні ділянки, а також на об'єкти нерухомого майна, розташовані на земельній ділянці, переміщення яких неможливе без їх знецінення та зміни призначення, а саме: підприємства як єдині майнові комплекси, житлові будинки, будівлі, споруди, а також їх окремі частини, квартири, житлові та нежитлові приміщення. Держателем Державного реєстру речових прав на нерухоме майно є Міністерство юстиції України. Тож Державний реєстр забезпечує обробку, збереження та надання відомостей про зареєстровані речові права на нерухоме майно і не призначений до виконання

інших функцій кадастру. Державний земельний кадастр є основою для ведення кадастрів інших природних ресурсів, передбачених законодавством України. Найбільше відношення до нерухомості має Містобудівний кадастр, але цілі створення Державного земельного кадастру та Містобудівного кадастру дуже різні і тому повноти кадастрової інформації про земельні ділянки і про будівлі немає, а це є причиною такого стану, що кадастрового обліку нерухомості в Україні, як невід’ємно поєднаних земельних ділянок та будівель, споруд, інших поліпшень практично не існує [13].

Розвиваючи цю тему, треба додати, що у своєму технічному звіті Світовий банк у вересні 2020 року зазначив [18]: «Реформи оподаткування майна можуть стати каталізатором інтеграції та об’єднання фрагментованих інституційних підходів до реєстрації майна, його оцінки та адміністрування податків. Це, серед іншого, передбачає реєстрацію прав власності, опис місцезнаходження майна у кадастрі, оцінку ринкової вартості, співпрацю у створенні банків даних та вдосконалення юридичного та геодезичного реєстрів». Тобто, з технічної точки зору, – рекомендував поєднання функцій Державного земельного кадастру, Містобудівного кадастру і реєстрації речових прав на нерухоме майно та їх обтяжень в єдину систему, як і було запропоновано у 2003 році Указом Президента.

Там же, у Додатку 1. (Підходи до розробки та ведення сучасних кадастрів нерухомого майна до України) було надано запитання [18]: «Для цілей створення фіскального кадастру варто зазначити, що Організація Об’єднаних Націй за підтримки Між-

народної федерації геодезистів (FIG) розробила «Богорську декларацію з кадастрової реформи», в якій було запропоновано створити [31]: «...сучасні кадастрові інфраструктури, які сприяють ефективному розвитку ринків землі та нерухомості, захищають права на землю всіх осіб та сприяють довгостроковому сталому розвитку та управлінню земельними ресурсами». Тобто управління земельними ресурсами має охоплювати реєстрацію земель, кадастрові зйомки та картографування, фіскальний, юридичний і багатоцільовий кадастри та комп’ютеризовану інформацію по земельних ділянках, що сприяє плануванню землекористування, а також розвитку системи оцінки/оподаткування земель. У зв’язку з цим виникає запитання, наскільки далеко просунувся цей процес в Україні і, якщо цей процес відбувається, то наскільки корисним може бути внесок одноразового декларування активів в цьому відношенні? І надано рекомендацію [31]: «Якщо передбачені Богорською декларацією заходи не були розпочаті або не просунулись далеко вперед, українському уряду необхідно, у першочерговому порядку, розробити чітко визначене національне бачення, стратегію та структуру фіскального кадастру».

Тобто, у своєму технічному звіті Світовий банк рекомендує Україні (з фіскальної точки зору) створити в Україні [18]: «єдину систему державної реєстрації земельних ділянок, нерухомого майна та прав на них» для державних потреб.

На додаток, огляд кадастрів та реєстрів природних ресурсів України, підтверджує те, що галузеві кадастри розрізнені організаційно і функціонально [12]. А інформація

цих кадастрів та реєстрів нерозривно пов'язана з земельними ділянками та нерухомістю і суттєво доповнює інформацію про нерухоме майно.

Структура об'єднаного ринку ЄС, а саме рух товарів, людей, послуг і капіталу, практично залежить від надійної та легкодоступної інформації про землю [14, 20]. Тому, для останніх років в ЄС характерна тенденція глобальної інтеграції Національних систем державної реєстрації нерухомості [14].

Стратегічний напрям євроінтеграції вимагає гармонізації кадастрової політики України зі стандартами ЄС, про що також було згадано в Указі Президента як мета створення єдиної системи державної реєстрації.

Можливо, що Указ Президента було видано передчасно в зв'язку з тим що, Україна ще не готова, а в Європі поки ще немає такої єдиної уніфікованої кадастрової системи.

В цій статті пропонується розібратись – що робиться в Європейському Союзі та Світі з точки зору розвитку сучасної системи кадастру для можливості розвитку кадастрової системи України у цій галузі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Дослідження теми знайшли широке відображення у працях вітчизняних науковців щодо принципів побудови кадастрової системи (Драпівковський А.І., Іванова І.Б. [11], Кірічек Ю. О., Гряник В. О. [13] та Перович І.Л. [16]), щодо розрізненості галузевих кадастрів (Єфимова А., Тихенко О.В.) [12], та інших.

Метою дослідження є аналіз сучасних підходів до досліджень розвитку кадастру нерухомості на осно-

ві практики та нормативно-правових документів Європейського Союзу з можливістю визначення перспективних напрямів удосконалення кадастру нерухомості в Україні відповідно до міжнародних стандартів та вимог.

Матеріали і методи дослідження

У дослідженні застосовано теоретичні методи наукового дослідження, а саме: аналізу, синтезу, індукції та дедукції. Аналіз дав змогу виокремити ключові складові, принципи регулювання висвітлені в нормативних документах та стандартах Європейського союзу. Синтез використовувався для інтеграції отриманих результатів з метою формування узагальнення та визначення перспективних напрямів удосконалення кадастру нерухомості в Україні відповідно до міжнародних стандартів та вимог. Також під час дослідження було застосовано систематичний підхід, що дало змогу розглянути кадастр нерухомості як складову частину багаторівневої системи та проаналізувати взаємозв'язки між компонентами національних та міжнародних стандартів й визначити їхню сумісність.

Виклад основного матеріалу дослідження

Світова практика пов'язує частіше кадастр із поняттям «нерухомість», під якою розуміють загально прийняту інформацію про розміри, власність та вартість земельної ділянки та всього, що невід'ємно поєднане з нею – що відповідає статті 181 Цивільного кодексу України [7].

У Європі автоматизовані системи кадастру почали впроваджувати в

70-х роках – як єдиний кадастр усієї нерухомості. Він містить в собі інформацію про земельні ділянки, будинки і квартири. Шведи першими впровадили систему і 40 років переносили в неї дані з архівів, які накопичилися за 300 років існування шведського кадастру [17].

Аналіз світового досвіду розвитку кадастру та систем реєстрації показує, що існують спільні ознаки і в той же час не існує двох країн, які б мали ідентичні кадастри. На рівні ООН визнано, що кадастр несе на собі відбиток національного менталітету, культури, суверенітету. Тому формування кадастру не може здійснюватися поза національним культурно-політичним контекстом.

Важливий поштовх в зв'язку з стрімким розвитком сучасних цифрових технологій світ отримав у 1998 році, після сміливої ініціативи Міжнародної геодезичної організації під назвою «Кадастр 2014».

«Кадастр 2014» – це важлива публікація, створена робочою групою Комісії FIG 7 Міжнародної федерації геодезистів між 1994 і 1998 роками [30]. Завданням було розробити бачення сучасного кадастру на двадцять років уперед. Це бачення визнавало багато поточних змін часу, зв'язок людства із землею, зростаючу роль приватного сектору в кадастрових операціях та різкий вплив технологій на кадастрову реформу.

«Кадастр 2014» прямо не згадував управління земельними ресурсами як проблему, але порушував багато тем управління. Завдяки концепції «Кадастр 2014» було розроблено першу редакцію міжнародного стандарту ISO 19152.2012 [25]. Модель земельної ділянки (LADM). ISO 19152.2012 – це міжнародний стандарт, який сто-

сується інформації про «відносини між людьми». Він став універсальною концептуальною інформаційною моделлю та визначав тристоронній взаємозв'язок нерухомості, власника та права.

LADM (Land Administration Domain Model) – це міжнародний стандарт, встановлений міжнародною організацією зі стандартизації (ISO) та технічним комітетом з географічної інформації Європейського комітету зі стандартизації, – по суті, є фундаментальною спробою стандартизувати кадастрові системи в усьому світі. Він формує модель даних, яка коректно ув'язує кадастрову та реєстраційну інформацію разом.

Розробка першого видання моделі домену управління земельними ресурсами (LADM), завершеного в 2012 році, мала сприяти створенню спільного погляду на управління земельними ресурсами для різних зацікавлених сторін, які беруть участь у цьому.

У багатьох країнах кілька державних зацікавлених сторін несуть відповідальність за різні аспекти управління земельними ресурсами, наприклад землеволодіння, вартість землі та плани землекористування. Таким чином, регулярний і безперервний обмін інформацією між цими зацікавленими сторонами є важливим для успішної системи управління земельними ресурсами. Це гарантує, що інформація готова до використання, підтримується в актуальному стані та доповнюється або завершується за потреби.

Для досягнення ефективної та сталої системи управління земельними ресурсами необхідна координація між фахівцями та організаціями, які виробляють інформацію, та користу-

вачами, які покладаються на неї як для приватних, так і для державних цілей. Ця координація сприяє взаємодії та обміну інформацією, прокладаючи шлях до майбутніх досягнень інформаційних інфраструктур, включаючи управління земельними ресурсами.

Модель домену управління земельними ресурсами була розроблена за ініціативою FIG, як частина мережі стандартів FIG. Перше видання було опубліковано в 2012 році з акцентом на реєстрації землі. Доменна модель земельного адміністрування (LADM), сертифікована ISO 19152:2012 і є глобальним стандартом цифровізації, створює стандартизовану інфраструктуру для інтеграції фізичних, просторових і адміністративних даних про землю в межах країни та між юрисдикціями, щоб полегшити міжнародне адміністрування операцій із землею та ресурсами.

Продовольча та сільськогосподарська комісія ООН (ФАО) зробила апробацію стандарту на базі «Рішення для відкритого управління земельними ресурсами» (SOLA) [29], для комп'ютеризованого кадастру та реєстрації з відкритим кодом, які можна налаштувати відповідно до законів і політики кожної країни.

Згодом стандарт було переглянуто і сьогодні вже діє друга редакція цього стандарту, а саме ISO 19152-1:2024. Географічна інформація — Модель домену управління землею (LADM).

LADM Edition II як багатокомпонентний стандарт: Частина 1 – Загальна концептуальна модель, Частина 2 – Реєстрація землі, Частина 3 – Морське георегулювання, Частина 4 – Інформація про оцінку, Частина 5 – Інформація про просторовий план і Частина

6 – Аспекти впровадження. Частина 2-6 ще готуються до видання.

Частина перша містить концепції та основну структуру стандартизації у сфері управління земельними ресурсами/георегулювання. Стандарт визначає загальну схему, яка дозволяє описувати нормативну інформацію. Цей документ встановлює загальні елементи та базову схему, на основі якої можна створити більш детальну схему.

Для досягнення цілей державної політики органи влади встановлюють правила, що зобов'язують або сприяють певній поведінці чи результатам. Деякі з цих правил використовують територіальні стратегії. У попередньому виданні цього документу, ISO 19152:2012, термін «управління землею» використовувався в широкому сенсі. У новому виданні документа ISO 19152-1:2024 введено новий термін із ширшим значенням: «георегуляція». Це визначається як діяльність з розмежування та встановлення контролю над географічними просторами за допомогою нормативних актів або правил.

Завдяки земельному управлінню/георегулюванню можна створити безліч географічних просторів, які виконують численні функції в контексті міжнародного права, конституційного права, адміністративного права, приватного права та звичаєвого права. Земельне адміністрування/георегулювання потенційно може використовуватися, наприклад, для делегування повноважень на регіональному рівні, для контролю доступу до території з міркувань безпеки чи охорони здоров'я, для організації руху людей, товарів та інформації, для управління ресурсами чи з метою їх збереження. Ці географічні простори

розташовані поруч або перекриваються, утворюючи складну правову просторову конфігурацію.

Метою цього документу є представлення основних понять та визначення основних компонентів і зв'язків, спільних для всіх об'єктів, створених землеустроєм/георегуляцією.

Перше завдання цього документа полягає в тому, щоб дати можливість залученим сторонам як в одній країні, так і між різними країнами спілкуватися на основі спільного словника, передбаченого моделлю.

Друге завдання полягає в тому, щоб забезпечити розширювану основу для розробки та вдосконалення систем управління земельними ресурсами на основі архітектури, керованої моделлю. Цей документ актуальний для створення стандартизованих інформаційних послуг у національному чи міжнародному контексті [26].

Але на цьому світ не зупинився і в продовження над уніфікацією кадастрових систем сьогодні пропонується нове бачення – «Кадастр-2034».

На запит суспільства в цьому баченні пропонується вирішити проблеми з автоматизації всіх процесів кадастрової системи, у тому числі до рівня форматів 3d та 4d, а для цього необхідна цифровізація і сумісність всієї архівної інформації, економічна самоокупність та доступність інформації широкому колу споживачів з метою вирішення як можна більшого кола екологічних, економічних, а з рештою і соціальних та політичних питань.

Не торкаючись проблем сучасного стану кадастру, який не задовольняє в повній мірі загальні потреби в повній і якісній інформації має сенс

підкреслити головні принципи яким повинен відповідати кадастр [15]: «достовірність; прозорість та публічність доступу в режимі on-line; верифікація даних; відповідність кадастрової інформації національним та європейським стандартам; можливість розширення та внесення змін в структуру кадастру при зміні правових актів та технологічних процесів».

Треба розуміти, що економічний розвиток держави, враховуючи бізнес та інвестиції, залежать від якісно створеної кадастрової системи, яка інтегрує в собі всі реєстри, що пов'язані з нерухомістю, оцінкою землі і поліпшень до неї тощо [15; 16].

«Кадастр-2034» [21] є продовженням «Кадастру-2014», який заклав основи універсального кадастру і визначив його перспективи на період до 2014 року. У змісті «Кадастру 2034» право на землю продовжує займати пріоритетне становище.

За задумкою цей кадастр дозволить людям легко та впевнено визначати місцезнаходження та обсяг усіх прав, обмежень, інтересів та обов'язків, пов'язаних із землею та прилеглою нерухомістю. Кадастр 2034 року являє собою об'єктивний запит на розвиток суспільних відносин.

Однією із багатьох проблем на шляху створення універсальної концепції кадастру є визнання права, формулювання сценарію визнання прав. Згідно з концепцією «Кадастр 2034» [21], відбудеться значне збільшення обсягу правової інформації про навколишнє середовище і суспільство вимагатиме легкого доступу до цієї інформації.

Кадастрова система у поєднанні з системою реєстрації землі є потужним економічним важелем. Вона збирає, керує та поширює інформацію,

яка визначає та зміцнює права власності. У свою чергу, ці права власності призводять до економічного розвитку, соціальної стабільності та фізичного благополуччя.

«Кадастр 2034» має п'ять цілей. Їхня мета – створити кадастрову систему, яка [21]:

1. має базове значення для володіння землею та майном й управляється стійким чином,

2. дійсно доступна, легко візуалізується, легко розуміється та використовується,

3. повністю інтегрована з широкими правовими та соціальними інтересами у сфері земельних відносин,

4. забезпечує цифрове уявлення реального світу, яке є точним, тривимірним та динамічним,

5. є федеративною кадастровою системою, заснованою на єдиних стандартах.

Перша мета полягає в тому, що кадастрова система – це система, пов'язана зі знаннями про всі права, обмеження та обов'язки, щоб люди могли взаємодіяти та приймати мудрі рішення щодо землі та нерухомості. Друга і третя мета інтегрована з сучасним баченням технологічного розвитку. Четвертий напрям розширює уявлення об'єктів кадастру до форматів 3d та 4d. При цьому, формат 3d надасть можливість відображення у кадастрових системах об'єму для таких об'єктів як кімнати і поверхи та інженерні мережі в будинках, тунелі, підземні споруди, метро, паркінги, підводні та надводні споруди тощо. Формат 4d дозволить проведення кадастрових робіт, контроль якості та унеможливить неякісне визначення координат в режимі реального часу. П'ята мета цієї концепції пропонує одноманітність у політиці, стандар-

тах, керівних принципах та законодавстві, тобто знову ж про інтеграцію всіх національних кадастрових систем в єдиний простір.

Між 2001 і 2004 роками вісім різних європейських організацій з земельної інформації та один університет співпрацювали у розробці демонстраційної електронної платформи для користувачів-передплатників земельних реєстрів за підтримки та додаткового фінансування з боку Європейської Комісії. Крім того, команда наполегливо працювала над створенням онлайн-довідкової інформації кожної країни-учасниці.

У 2004-2007 роках довгостроковою метою було сприяння транскордонному кредитуванню в рамках інтеграції ринків іпотечного кредитування ЄС. Трирічна програма перетворила демонстраційну версію на реальний сервіс, який був офіційно запущений 22 листопада 2006 року. Цей портал проектувався за принципом «єдине вікно» і об'єднував такі країни, як Австрія, Швеція, Нідерланди, Литва, Великобританія, Норвегія, Фінляндія, Шотландія та Ірландія, Бельгія, Чехія, Естонія, Ісландія, Італія, Латвія, Сербія, Словаччина, Словенія, Іспанія [15]. EULIS – це концепція, яку підтримували різні організації європейської спільноти, включаючи Європейську комісію, Європейську іпотечну федерацію, Європейську асоціацію земельного реєстру, Eurogeographics та Європейську мережу бізнес-реєстрів [22].

З 2007 по 2017 рік портал EULIS працював. У травні 2017 року члени організації вирішили закрити портал. Основною причиною закриття було те, що Європейська комісія створювала портал на заміну в рамках Програми взаємодії земельних реєстрів.

У 2018 році портал EULIS було скасовано.

Проект взаємодії земельних реєстрів (LRI) має на меті забезпечити єдину точку доступу до земельних реєстрів країн-учасниць ЄС в рамках Європейського порталу електронного правосуддя. Європейський портал електронного правосуддя задумано як майбутній електронний єдиний центр у сфері правосуддя [27]. Це вирішить поточні проблеми розбіжностей, складності та численності систем реєстрації нерухомості в державах-членах. Завдяки цій точці доступу громадяни та фахівці зможуть запитувати та отримувати відповідну інформацію через єдиний адаптивний багатомовний інтерфейс відповідно до національних правових та технічних можливостей.

Також в галузі нерухомості в ЄС [27] у 2004 р. створено Європейську асоціацію земельного реєстру ELRA, яка у липні 2020 року прийняла свою Декларацію [19]. Центральним елементом її пропозицій є формулювання Принципів земельного реєстру [28] та створення Статуту Європейського земельного реєстратора [23] для визначення основних характеристик систем земельного реєстру та ролі і обов'язків держав-учасниць. Ці ініціативи спрямовані на підтримку правової цілісності, захист інтересів громадян та бізнесу, сприяння економічному зростанню та просування гармонізованої практики реєстрації землі.

Одним із ключових проєктів ELRA є IMOLA (Модель сумісності для земельного реєстру), який зараз виходить у четвертій редакції. Цей проєкт, що фінансується Європейським Союзом, відповідає на зростаючу потребу в підвищенні сумісності систем

земельного реєстру, зокрема щодо реєстрації іноземних документів та судових рішень. Встановлюючи місцеві еквіваленти для іноземних юридичних прав, IMOLA сприяє ефективному впровадженню регламентів ЄС у цивільних та комерційних справах. Ця ініціатива ставить нові вимоги перед зацікавленими сторонами, такими як реєстратори, судді, науковці, юристи, нотаріуси, адвокати та громадяни, які повинні мати поглиблені знання про іноземні майнові права, системи реєстрації та законодавство. Після визначення структури, придатної для всіх європейських земельних реєстрів в IMOLA I – Європейський документ земельного реєстру (ELRD) – та опрацювання семантичних перекладів, визначення ключових термінів, побудови таксономій у наступних двох проєктах, IMOLA IV є наступним кроком проєкту, де головна увага приділяється вдосконаленому Європейському документу земельного реєстру та використанню штучного інтелекту.

ELRA сьогодні представляє 31 офіційну організацію з реєстрації земельних ділянок з 27 європейських країн. До речі, Україна є спостерігачем в цій Асоціації. Головною метою Асоціації є підтримка розвитку та розуміння ролі реєстрації земельних ділянок на ринках нерухомості та капіталу в Європі.

Створюється адекватне нормативне середовище. Незалежно від національних інституцій та законодавства, це нормативне середовище гарантує правильне застосування принципу вільного ринку та правової визначеності як для громадян, так і для організацій. Захист прав споживачів та громадян має бути орієнтиром для європейських та національних інституцій, вживаючи необхідних заходів

для гарантування цієї мети, забезпечуючи відповідну, доступну та якісну правову інформацію. В розвиток інтеграції між членами Асоціації було створено свою європейську мережу земельних реєстрів (European Land Registry Network (ELRN)) [19]. У розвиток цієї мережі в травні 2023 року Асоціацією було запропоновано Статут Європейського земельного реєстратора [23].

Таким чином, поглядаючи вперед, розвивається ринок нерухомості і в Європі. Однією зі своїх основних цілей Європейський Союз має на меті створення та розвиток єдиного ринку, який гарантує вільний рух осіб, товарів, послуг, капіталу та даних.

З цією метою Європа прийняла Закон про інтероперабельну Європу, який набрав чинності 11 квітня 2024 року, що стало значним кроком до зміцнення сумісності в державному секторі. Закон дозволяє адміністраціям співпрацювати та забезпечувати безперерйне функціонування державних служб у різних територіальних, галузевих та організаційних межах, зберігаючи при цьому свій суверенітет на всіх рівнях управління [24]. Незважаючи на зусилля останніх десятиліть, деякі бар'єри на шляху до сумісності та цифровізації державних послуг по всій Європі залишаються. Закон про сумісну Європу вирішує ці проблеми, гарантуючи, що громадяни та організації можуть ефективно отримувати доступ до цифрових послуг, навіть коли задіяні кілька держав-членів ЄС. До 2030 року метою ЄС є забезпечення повної доступності демократичного життя та державних послуг онлайн.

Таким чином, інтероперабельна Європа розвиває та удосконалює інтеграцію правових та кадастрових

служб. Приєднання України до цього процесу є шляхом для власного розвитку ринку нерухомості та економічного зростання.

Висновки та пропозиції

З огляду на розвиток кадастрової системи в ЄС та Світі Україні необхідно повернутись до виконання Указу Президента [4] і продовжити роботи з інтеграції наявних державних кадастрових та реєстраційних систем України в єдину інформаційну систему, база якої закладена державним земельним кадастром та реєстром речових прав, уникаючи розмиття поняття нерухомого майна, згідно зі статтею 181 Цивільного кодексу України. Формування такої системи повинно йти з урахуванням існуючих процесів щодо кадастрових систем в ЄС та Світі.

У Земельному Кодексі України зазначено, що [6]: «Державний земельний кадастр – це єдина державна система земельно-кадастрових робіт, яка встановлює процедуру визнання факту виникнення або припинення права власності і права користування земельними ділянками та містить сукупність відомостей і документів про місце розташування та правовий режим цих ділянок, їх оцінку, класифікацію земель, кількісну та якісну характеристику, розподіл серед власників та землекористувачів». Остання частина цього визначення, щодо правового режиму, оцінку тощо, якраз і охоплює інформацію з інших державних кадастрів та реєстрів.

В Україні треба продовжувати формувати кадастрову систему згідно Указу Президента від 2003 року на базі стандарту ISO 19152-1:2024 та з урахуванням Закону ЄС про ін-

тероперабельну Європу і рекомендацій концепції «Кадастр 2034», яка б складалася з багатоцільового кадастру, реєстрів прав власності, оцінки кадастрових об'єктів та могла інтегрувати в собі інші державні реєстри і кадастри, враховуючи нагальні процеси та практики і майбутній напрямок розвитку в цих питаннях ЄС для можливості подальшої обов'язкової інтеграції. До речі, нова редакція стандарту нагадує про створення кадастру в морській галузі, якого немає в Україні – морській державі.

Список використаної літератури

1. Деякі питання реалізації експериментального проекту щодо запровадження Містобудівного кадастру на державному рівні: Постанова Кабінету Міністрів України від 9 серпня 2024 р. №909. Офіційний вебпортал парламенту України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/909-2024-p#n2> (дата звернення: 04.10.2025).
2. Про державну реєстрацію речових прав на нерухоме майно та їх обтяжень: Закон України від 01.07.2004 №1952-IV. Офіційний вебпортал парламенту України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1952-15#Text> (дата звернення: 05.11.2025).
3. Про затвердження Порядку ведення Державного земельного кадастру: Постанова Кабінету Міністрів України від 17.10.2012 №1051. Офіційний вебпортал парламенту України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1051-2012-p#n1326> (дата звернення: 15.10.2025).
4. Про заходи щодо створення єдиної системи державної реєстрації земельних ділянок, нерухомого майна та прав на них у складі державного земельного кадастру: Указ Президента України від 17.02.2003 № 134/2003. Офіційний вебпортал парламенту України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/134/2003#Text> (дата звернення: 16.10.2025).
5. Про створення єдиної системи державної реєстрації земельних ділянок, нерухомого майна та прав на них у складі державного земельного кадастру: Постанова Кабінету Міністрів України від 15.05.2003 №689. Офіційний вебпортал парламенту України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/689-2003-%D0%BF#Text> (дата звернення: 06.11.2025).
6. Земельний кодекс України: Кодекс України від 25.10.2001 № 2768-III. Офіційний вебпортал парламенту України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2768-14#Text> (дата звернення: 04.10.2025).
7. Цивільний кодекс України: Кодекс України від 16.01.2003 №435-IV. Офіційний вебпортал парламенту України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/435-15#Text> (дата звернення: 03.10.2025).
8. Податковий кодекс України: Кодекс України від 02.12.2010 №2755-VI. Офіційний вебпортал парламенту України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2755-17> (дата звернення: 06.11.2025).
9. Про Державний земельний кадастр: Закон України від 07.07.2011 №3613-VI. Офіційний вебпортал парламенту України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3613-17#Text> (дата звернення: 06.11.2025).
10. Геопортал містобудівного кадастру на державному рівні. URL: <https://kadastr.gov.ua/> (дата звернення: 05.11.2025).
11. Драпиковський А.І., Іванова І.Б. Нерухоме майно як кадастровий об'єкт // Системна взаємодія кадастрів: проблемні питання методологічного, інституційного та інформаційного забезпечення. Збірник матеріалів Міжнародної науково-практичної конференції (Київ,

- 29-30 березня 2019 року) – К., ДП «Компринт», 2019. С. 93-97.
12. Єфимова А., Тихенко О.В. Огляд кадастрів природних ресурсів в Україні// Системна взаємодія кадастрів: проблемні питання методологічного, інституційного та інформаційного забезпечення Збірник матеріалів Міжнародної науково-практичної конференції (Київ, 29-30 березня 2019 року) – К., ДП «Компринт», 2019. С. 111-116.
13. Кірічек Ю. О., Гряник В. О. Розвиток кадастрово-реєстраційної системи нерухомого майна в світі та в Україні // Системна взаємодія кадастрів: проблемні питання методологічного, інституційного та інформаційного забезпечення Збірник матеріалів Міжнародної науково-практичної конференції (Київ, 29-30 березня 2019 року). К., ДП «Компринт», 2019. С. 23-24.
14. Козлова Т. В., Коваль О. А. Сучасні європейські системи кадастру та реєстру прав *Scientific Journal «ScienceRise»* №1/1(6) 2015. С.19-23 <https://doi.org/10.15587/2313-8416.2015.36005> (дата звернення: 04.11.2025).
15. Перович І.Л. Кадастр в системі адміністрування земельними ресурсами: теорія і практика [Текст] : автореф. дис. ... д-ра техн. наук : 05.24.04 / Перович Ігор Львович ; Київ. нац. ун-т буд-ва і архітектури. - Київ, 2017. 40 с.
16. Перович І.Л., Маланчук М.С. Напрямки розвитку кадастрової системи України // Системна взаємодія кадастрів: проблемні питання методологічного, інституційного та інформаційного забезпечення Збірник матеріалів Міжнародної науково-практичної конференції (Київ, 29-30 березня 2019 року) – К., ДП «Компринт», 2019. С. 24-27.
17. Чи вписується українська система кадастру у світові тенденції? Сільські новини Всеукраїнська газета. URL: <https://silskinovyny.com/page/chi-vpisuetsya-ukrayinska-sistema-kadastru-u-svitovi-tendentsiyi> (дата звернення: 04.11.2025).
18. Шатан Р., Гроте М., Бернс Л., Моліна О. Україна. Подальший розгляд питань оподаткування розподіленого прибутку, запровадження BEPS, програми добровільного декларування та непрямих методів визначення оподаткованого доходу. Технічний звіт. Світовий банк. Вересень 2020 року. URL: <https://mof.gov.ua/storage/files/roberto-schatan-ta-mission-report-september2020-ukr.pdf>
19. About Us - ELRA. ELRA. URL: <https://www.elra.eu/european-land-registry-network/about-us-2/> (date of access: 05.11.2025).
20. Agreement on a Common European Economic Space. European Union. URL: <https://eur-lex.europa.eu/EN/legal-content/summary/agreement-on-the-european-economic-area.html> (date of access: 05.11.2025).
21. Cadastre 2034. Intergovernmental Committee on Surveying and Mapping (ICSM). URL:<https://www.icsm.gov.au/cadastre-2034>(date of access: 06.11.2025).
22. European Land Information Service - EULIS. Interoperable Europe Portal. URL: <https://interoperable-europe.ec.europa.eu/collection/egovernment/solution/european-land-information-service-eulis> (date of access: 04.10.2025).
23. European Land Registrar's Statute - ELRA. ELRA. URL: <https://www.elra.eu/about-us/european-land-registrars-statute/> (date of access: 06.11.2025).
24. Interoperable Europe Act. Interoperable Europe Portal. URL: <https://interoperable-europe.ec.europa.eu/interoperable-europe/interoperable-europe-act> (date of access: 04.10.2025).
25. ISO 19152:2012. ISO. URL: <https://www.iso.org/standard/51206.html> (date of access: 06.11.2025).
26. ISO 19152-1:2024. ISO. URL: <https://www.iso.org/standard/81263.html> (date of access: 06.11.2025).

27. Land registers - EU level. European e-Justice Portal. URL: https://e-justice.europa.eu/topics/registers-business-insolvency-land/land-registers-eu-level_en (date of access: 05.11.2025).
28. Land Registry Principles - ELRA. ELRA. URL: <https://www.elra.eu/about-us/landregistry-principles/> (date of access: 16.10.2025).
29. Solutions for Open Land Administration (SOLA). Land Portal Foundation. URL: <https://landportal.org/organisation/sola> (date of access: 06.11.2025).
30. Steudler D. CADASTRE 2014 and Beyond // The International Federation of Surveyors (FIG), May 2014 URL: <https://fig.net/resources/publications/figpub/pub61/Figpub61.pdf> (date of access: 05.11.2025).
31. The Bathurst Declaration on Land Administration for Sustainable Development// International Workshop on Cadastral Infrastructures for Sustainable Development, International Federation of Surveyors and the United Nations, 18th - 22nd October 1999, Bathurst URL: https://www.fig.net/organisation/general_assembly/agendas_and_minutes/2000/pdf-files/pub-21.pdf (date of access: 06.11.2025).
3. Verkhovna Rada of Ukraine. (2012, October 17). Pro zatverdzhennya Poryadku vedennya Derzhavnoho zemel'noho kadastru: Postanova Kabinetu Ministriv Ukrainy No. 1051. [On approval of the Procedure for maintaining the State Land Cadastre: Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine]. Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1051-2012-p#n1326> (date of access: 15.10.2025).
4. Verkhovna Rada of Ukraine. (2003, February 17). Pro stvorennya yedynoyi systemy derzhavnoyi reyestratsiyi zemel'nykh dilyanok, nerukhomoho mayna ta prav na nykh u skladi derzhavnoho zemel'noho kadastru ta udoskonalennya struktury derzhavnoho pidpryemstva "Tsentr derzhavnoho zemel'noho kadastru pry Derzhavnomu komiteti Ukrainy po zemel'nykh resursakh": Ukaz Prezydenta Ukrainy No. 134. [On the creation of a unified system of state registration of land plots, real estate and rights to them as part of the state land cadastre and improving the structure of the state enterprise "Center of the State Land Cadastre under the State Committee of Ukraine for Land Resources": Order No. 134]. Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/134/2003#Text> (date of access: 16.10.2025).
5. Verkhovna Rada of Ukraine. (2003, May 15). Pro stvorennya yedynoyi systemy derzhavnoyi reyestratsiyi zemel'nykh dilyanok, nerukhomoho mayna ta prav na nykh u skladi derzhavnoho zemel'noho kadastru: Postanova Kabinetu Ministriv Ukrainy No. 689. [On the creation of a unified system of state registration of land plots, real estate and rights to them as part of

References

1. Verkhovna Rada of Ukraine. (2024, August 9). Deyaki pytannya realizatsiyi eksperymental'noho proektu shchodo zaprovadzhennya Mistobudivnoho kadastru na derzhavnomu rivni: Postanova KMU No. 909. [Some issues of implementing the pilot project on the introduction of the Urban Planning Cadastre at the state level: Resolution of the Cabinet of Ministers No. 909]. Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/909-2024-p#n2> (date of access: 04.10.2025).
2. Verkhovna Rada of Ukraine. (2004, July 1). Pro derzhavnu reyestratsiyu rechovykh prav na nerukhome mayno ta yikh

- the state land cadastre: Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine No. 689]. Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/689-2003-%D0%BF#Text> (date of access: 06.11.2025).
6. Verkhovna Rada of Ukraine. (2001, October 25). Zemel'nyy kodeks Ukrainy: Kodeks Ukrainy No. 2768-III. [Land Code of Ukraine: Code of Ukraine No. 2768-III]. Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2768-14#Text> (date of access: 04.10.2025).
 7. Verkhovna Rada of Ukraine. (2003, January 16). Tsyvil'nyy kodeks Ukrainy: Kodeks No. 435-IV. Ofitsiynyy vebportal parlamentu Ukrainy. [Civil Code of Ukraine: Code of Ukraine No. 435-IV]. Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/435-15#Text> (date of access: 03.10.2025).
 8. Verkhovna Rada of Ukraine. (2010, December 2). Podatkovyy kodeks Ukrainy: Kodeks Ukrainy No. 2755-VI. [Tax Code of Ukraine: Code of Ukraine No. 2755-VI]. Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2755-17> (date of access: 06.11.2025).
 9. Verkhovna Rada of Ukraine. (2011, July 7). Pro Derzhavnyy zemel'nyy kadastr: Zakon Ukrainy No. 3613-VI. [On the State Land Cadastre: Law of Ukraine No. 3613-VI]. Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3613-17#Text> (date of access: 06.11.2025).
 10. Geoportal of urban planning cadastre at the state level. (n.d.). Available at: <https://kadas-tr.gov.ua/> (date of access: 05.11.2025).
 11. Drapikovskiy, A.I., & Ivanova, I.B. (2019). Nerukhome mayna yak kadastroyi ob'ekt. Systemna vzayemodiya kadastriv: problemni pytannya metodolohichnoho, instytutsiynoho ta informatsiynoho zabezpechennya. Zbirnyk materialiv Mizhnarodnoyi naukovopraktychnoyi konferentsiyi. [Real estate as a cadastral object. System interaction of cadastres: problematic issues of methodological, institutional and information support. Collection of materials of the International Scientific and Practical Conference]. Kyiv, March 29-30, 2019, 93-97.
 12. Yefymova, A., & Tykhenko, O.V. (2019). Ohlyad kadastriv pryrodnykh resursiv v Ukraini. Systemna vzayemodiya kadastriv: problemni pytannya metodolohichnoho, instytutsiynoho ta informatsiynoho zabezpechennya Zbirnyk materialiv Mizhnarodnoyi naukovopraktychnoyi konferentsiyi. [Review of natural resource cadastres in Ukraine. System interaction of cadastres: problematic issues of methodological, institutional and information support. Proceedings of the International Scientific and Practical Conference]. Kyiv, March 29-30, 2019, 111-116.
 13. Kirichek, YU. O., & Hryanyk, V. O. (2019). Rozvytok kadaastrovo-reyestratsiynoyi systemy nerukhomoho mayna v sviti ta v Ukraini. Systemna vzayemodiya kadastriv: problemni pytannya metodolohichnoho, instytutsiynoho ta informatsiynoho zabezpechennya Zbirnyk materialiv Mizhnarodnoyi naukovopraktychnoyi konferentsiyi [Development of the cadastral registration system of real estate in the world and in Ukraine. System interaction of cadastres: problematic issues of methodological, institutional and information support Collection of materials of the International Scientific and Practical Conference]. Kyiv, March 29-30, 23-24.
 14. Kozlova, T. V., & Koval, O. A. (2015). Suchasni yevropeys'ki systemy kadastru ta reyestru prav [Modern European systems of cadastre and registry of rights] Scientific Journal «ScienceRise» No. 1/1(6), 19-23 <https://doi.org/10.15587/2313-8416.2015.36005> (date of access: 04.11.2025).
 15. Perovych, I.L. (2017). Kadastr v systemi administruvannya zemel'nykh resursamy: teoriya i praktyka [Cadastre in the land resources administration system: theory and practice] [Text]: author's abstract.

- dissertation ... doctor of technical sciences: 05.24.04 / Perovich Ihor Lvovich; Kyiv. National University of Construction and Architecture. Kyiv, 40 p.
16. Perovych, I. L., & Malanchuk, M. S. (2019). *Napryamky rozvytku kadaastrovoyi systemy Ukrainy. Systemna vzayemodiya kadastriv: problemni pytannya metodolohichnoho, instytutsiynoho ta informatsiynoho zabezpechennya* Zbirnyk materialiv Mizhnarodnoyi naukovy-praktychnoyi konferentsiyi. [Directions for the development of the cadastral system of Ukraine. System interaction of cadastral systems: problematic issues of methodological, institutional and information support Collection of materials of the International Scientific and Practical Conference]. Kyiv, March 29-30, 24-27.
 17. Chy vpysuyet'sya ukrayins'ka systema kadastru u svitovi tendentsiyi? (n.d.). *Sil's'ki novyny Vseukrayins'ka hazeta*. [Does the Ukrainian cadastre system fit into global trends? Rural News Vseukrainska Gazeta]. Available at: <https://silskinovyny.com/page/chi-vpisuetsya-ukrayinska-sistema-kadastru-u-svitovi-tendentsiyi> (date of access: 04.11.2025).
 18. Shatan, R., Hrote, M., Berns, L. & Molina, O. (2020, September). *Ukrayina. Podal'shyi rozhlyad pytan' opodatkovannya rozpodilnoho prybutku, zaprovadzhennya BEPS, prohramy dobrovil'noho deklaruvannya ta nepryamykh metodiv vyznachennya opodatkovuvanoho dokhodu*. [Ukraine. Further consideration of the issues of taxation of distributed profits, the introduction of BEPS, the voluntary declaration program and indirect methods of determining taxable income.]. Technical Report. World Bank. Available at: <https://mof.gov.ua/storage/files/roberto-schatan-ta-mission-report-september2020-ukr.pdf>.
 19. About Us - ELRA. (n.d.). ELRA. Available at: <https://www.elra.eu/european-land-registry-network/about-us-2/> (date of access: 05.11.2025).
 20. Agreement on a Common European Economic Space. (n.d.). European Union. URL: <https://eur-lex.europa.eu/EN/legal-content/summary/agreement-on-the-european-economic-area.html> (date of access: 05.11.2025).
 21. Cadastre 2034. (n.d.). Intergovernmental Committee on Surveying and Mapping (ICSM). Available at: <https://www.icsm.gov.au/cadastre-2034> (date of access: 06.11.2025).
 22. European Land Information Service - EULIS. (n.d.). Interoperable Europe Portal. URL: <https://interoperable-europe.ec.europa.eu/collection/egovernment/solution/european-land-information-service-eulis> (date of access: 04.10.2025).
 23. European Land Registrar's Statute - ELRA. (n.d.). ELRA. Available at: <https://www.elra.eu/about-us/european-land-registrars-statute/> (date of access: 06.11.2025).
 24. Interoperable Europe Act. (n.d.). Interoperable Europe Portal. Available at: <https://interoperable-europe.ec.europa.eu/interoperable-europe/interoperable-europe-act> (date of access: 04.10.2025).
 25. ISO 19152:2012. (n.d.). ISO. Available at: <https://www.iso.org/standard/51206.html> (date of access: 06.11.2025).
 26. ISO 19152-1:2024. (n.d.). ISO. URL: <https://www.iso.org/standard/81263.html> (date of access: 06.11.2025).
 27. Land registers - EU level. (n.d.). European e-Justice Portal. Available at: https://e-justice.europa.eu/topics/registers-business-insolvency-land/land-registers-eu-level_en (date of access: 05.11.2025).
 28. Land Registry Principles - ELRA. (n.d.). ELRA. Available at: <https://www.elra.eu/about-us/landregistry-principles/> (date of access: 16.10.2025).
 29. Solutions for Open Land Administration (SOLA). Land Portal Foundation. Available at: <https://landportal.org/organisation/sola> (date of access: 06.11.2025).

30. Steudler, D. (2014, May). CADASTRE 2014 and Beyond. The International Federation of Surveyors (FIG). Available at: <https://fig.net/resources/publications/figpub/pub61/Figpub61.pdf> (date of access: 05.11.2025).
31. The Bathurst Declaration on Land Administration for Sustainable Development. (1999, October 18–22). International Workshop on Cadastral Infrastructures for Sustainable Development, International Federation of Surveyors and the United Nations, Bathurst. Available at: https://www.fig.net/organisation/general_assembly/agendas_and_minutes/2000/pdf-files/pub-21.pdf (date of access: 06.11.2025).
-

Gordieiev A., Plichko L.

REAL ESTATE CADASTRE IN UKRAINE

LAND MANAGEMENT, CADASTRE AND LAND MONITORING 4'25: 43-59.

<http://dx.doi.org/10.31548/zemleustriy2025.04.03>

Abstract. *The article examines the process of creating a real estate cadastre in Ukraine and the directions of development based on the analysis of the experience and practices of the European Union. It is emphasized that the importance of correcting the misunderstandings created in this area of relations regarding the definition of real estate adopted in Ukraine and in the World, taking into account the recommendations of the World Bank on the unification of fragmented institutional approaches to property registration, its valuation and tax administration. The emphasis is on the continuous development of integration processes in this area in the EU countries and the World on the basis of a coordinated view of the future development of these systems, taking into account the conclusions drawn from the practice of implementing the future vision of the modern cadastre by 2014 and from the perspective of 2035, as well as on the importance of Ukraine's accession to this process to create favorable conditions for the development of market relations and the activation of investment activities. It is determined that the strategic direction in the context of European integration is the harmonization of Ukraine's cadastral policy with EU standards. It is proposed to continue the implementation of the Decree of the President of Ukraine on the cadastral system of 2003 by creating a multifunctional cadastre, which will include property rights registers, cadastral valuation of property and other state registers and cadastres. The article emphasizes the importance of unification and modernization of the system to increase its efficiency and compliance, based on proven modern practices, with international requirements.*

Keywords: *real estate cadastre, cadastral system, European Union, land, real estate.*

ЕКОНОМІКА ТА ЕКОЛОГІЯ ЗЕМЛЕКОРИСТУВАННЯ

УДК: 631.1:551.583 (477.82)

<http://dx.doi.org/10.31548/zemleustriy2025.04.04>

ВПЛИВ ЗМІНИ КЛІМАТУ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИРОЩУВАННЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР У РІВНЕНСЬКІЙ ОБЛАСТІ

І.П. КУПРІЯНЧИК,

доктор економічних наук, професор

E-mail: kupriyanchyk_i@nubip.edu.ua

<https://orcid.org/0000-0003-1348-2128>

Національний університет біоресурсів і природокористування України

Анотація. У статті досліджено вплив зміни клімату на ефективність вирощування сільськогосподарських культур у Рівненській області, територія якої слугує репрезентативним напрямом для вивчення адаптаційних процесів в умовах зміни кліматичних умов на північному заході України. Встановлено, що підвищення середньорічних температур, зменшення рівномірної кількості опадів, почастишання посух суттєво впливають на врожайність основних сільськогосподарських культур і обумовлюють їх просторову диференціацію. Дослідження включає просторовий аналіз сільськогосподарського виробництва, оцінку ризиків, пов'язаних з кліматом, в адміністративних районах регіону, а також виявлення регіональних відмінностей у впливі кліматичних факторів. Була проведена оцінка ефективності вирощування різних сільськогосподарських культур в нових кліматичних умовах. Результати свідчать про необхідність коригування структури посівів на користь більш адаптивних та рентабельних культур, таких як картопля, кукурудза, овочі відкритого ґрунту та плодово-ягідні культури. Запропоновано оптимізовану структуру посівних площ, адаптовану до сучасних агрокліматичних умов регіону. У дослідженні використовується міждисциплінарний підхід, який поєднує агрокліматичний аналіз, економічну оцінку та просторове моделювання. Отримані результати можуть бути використані для розробки стратегій адаптації аграрного сектору до зміни клімату, забезпечення продовольчої безпеки та підвищення економічної стійкості сільськогосподарського виробництва в Рівненській області та аналогічних регіонах України.

Ключові слова: зміна клімату, сільське господарство, економічна ефективність, врожайність сільськогосподарських культур, агрокліматичні ризики, сівозмінна, продовольча безпека.

Постановка проблеми

Проблема зміни клімату в останні десятиліття набула глобального характеру, істотно впливаючи на різні сфери економічної діяльності, зокрема на сільське господарство. Україна, як одна з провідних аграрних країн Європи, особливо вразлива до кліматичних трансформацій, що проявляються у зміні температурного режиму, дефіциті вологи, зростанні частоти екстремальних погодних явищ та деградації ґрунтів. Ці чинники безпосередньо впливають на рівень продуктивності сільськогосподарських угідь і, відповідно, на економічну ефективність їх використання.

На даний час аграрний сектор України не характеризується високою вразливістю до наслідків зміни клімату. Водночас зміна погодних умов, у поєднанні з іншими негативними наслідками антропогенної діяльності може призводити до розширення територій ризикового землеробства та активізації процесів опустелювання у південних областях України.

Упродовж останніх десятиліть інтенсивна зміна клімату зумовила істотні трансформаційні процеси у структурі сільськогосподарського виробництва, зокрема у розподілі площ посівів зернових і зернобобових культур. Варто зауважити, що і динаміка урожайності основних сільськогосподарських культур в останні десятиліття є нерівномірною: якщо у Лісостепу та на Поліссі середня врожайність зернових і зернобобових культур зросла на 46–61 % порівняно з 1990 роком, то в Степу, навпаки, зафіксовано її зниження на 10 %. Подібні зміни спостерігаються й щодо продуктивності інших основних культур. У цілому загальне зростання

врожайності зернових і зернобобових культур в Україні відбулося переважно у регіонах із кращими умовами вологозабезпечення – Полісся та Лісостепу. [2,4,7,8]

Аналіз статистичних даних свідчить, що у зоні Степу, де зосереджено 46 % посівних площ зернових культур, на сьогодні формується лише 35 % загального обсягу виробництва зерна, що є істотним зниженням порівняно з 45 % у 1990 році. Середня урожайність зернових у даній зоні протягом 2013–2017 років склала 32,2 ц/га, тоді як у 1990 році цей показник становив 35,8 ц/га, попри загальне підвищення врожайності зернових культур в Україні на 21 %. [4,6,7,8]

Відповідно, можна констатувати, що забезпечення стабільної економічної ефективності в аграрному секторі за умов змін клімату вимагає впровадження нових підходів до землекористування, використання адаптивних технологій, зміни структури посівів і стратегічного планування на основі прогностичних сценаріїв. Оцінка ефективності в нових умовах стає важливим інструментом для обґрунтування рішень, спрямованих на підвищення стійкості аграрного виробництва та збереження продовольчої безпеки.

Незважаючи на численні наукові дослідження у сфері сільськогосподарського виробництва та кліматичних змін, в Україні залишається потреба у регіонально орієнтованих оцінках, які враховували б специфіку різних природно-кліматичних зон, особливо таких, як Полісся і Лісостеп, де зміни проявляються неоднорідно. У зв'язку з цим було обрано Рівненську область як репрезентативний регіон для дослідження.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Останні дослідження та аналітичні матеріали одностайно вказують на те, що кліматичні зміни вже сьогодні суттєво впливають на ефективність вирощування сільськогосподарських культур у різних регіонах світу. Підвищення середньої температури, зміна режимів опадів, часті посухи та екстремальні погодні явища знижують врожайність основних агрокультур, таких як кукурудза, пшениця, соя та рис. Встановлено, що підвищення температури на кожен градус Цельсія в середньому зменшує врожайність на 5–8%, що створює серйозну загрозу для глобальної продовольчої безпеки.[1]

У статті Rosenzweig et al. (2013) представлено концепцію та перші результати міжнародного проєкту AgMIP (Agricultural Model Intercomparison and Improvement Project), спрямованого на покращення прогнозування впливу кліматичних змін на сільське господарство. Автори розробили єдині протоколи для порівняння моделей врожайності культур для різних кліматичних сценаріїв та акцентували увагу на важливості міждисциплінарного підходу, що дозволить більш точно оцінювати продовольчі ризики і розробляти адаптаційні стратегії для різних регіонів світу. [5]

У дослідженні Moore, Baldos, Hertel і Diaz (2017) проаналізовано наукові дані щодо впливу змін клімату на сільське господарство та обґрунтовано, що традиційні оцінки недооцінюють масштаби економічних збитків. Результати дослідження вказують на необхідність перегляду кліматичної політики з урахуванням

більш реалістичних економічних наслідків для аграрного сектору. [3]

Публікації українських вчених також свідчить про зростаючу увагу до проблеми впливу кліматичних змін на ефективність агровиробництва. У «Методиці прогнозування оцінки впливу змін клімату на продуктивність агроєкосистем» розробленої Інститутом агроєкології і природокористування НААН України, представлено практичний підхід до оцінки зміни продуктивності сільськогосподарських культур за допомогою дистанційного зондування Землі та агрокліматичних показників. Зокрема, акцент зроблено на використанні індексу NDVI та сум ефективних температур для прогнозування врожайності в умовах змін клімату, що дозволяє своєчасно реагувати на потенційні ризики. [8]

Комплексний аналіз економічних наслідків кліматичних змін для аграрного сектору України подано у «Звіті про клімат і розвиток України: Сільське господарство», який представила Київська школа економіки. [7]

У документі наведено оцінку ризиків, пов'язаних зі зміною кліматичних умов, а також запропоновано рекомендації щодо адаптації, включаючи розвиток зрошувального землеробства, впровадження кліматостійких сортів культур і підтримку фермерських господарств в умовах підвищеної кліматичної нестабільності. Особливу увагу приділено економічній оцінці втрат та необхідності інвестицій у підвищення стійкості агровиробництва. [7]

Мета дослідження. Метою дослідження є виявлення потенційних кліматичних загроз для сільського господарства Рівненської області та обґрунтування шляхів адаптації

аграрного виробництва до нових кліматичних умов.

Матеріали і методи наукового дослідження

Методологічна основа дослідження ґрунтується на міждисциплінарному підході, який поєднує агрокліматичний аналіз, економічну оцінку, просторове моделювання та статистичну інтерпретацію даних. Комплекс методів дозволяє оцінити як прямий, так і опосередкований вплив кліматичних змін на ефективність вирощування сільськогосподарських культур у Рівненській області. Агроокліматичний аналіз застосовувався для дослідження багаторічних рядів температури повітря, опадів, частоти посух та екстремальних погодних явищ. Методи моделювання застосовано для виявлення просторової диференціації кліматичних ризиків, аналізу зон підвищеної посушливості та перезволоження, а також оцінки відповідності структур посівів природно-кліматичним умовам. Аналітичний і порівняльний методи використано для узагальнення даних офіційної статистики, міжнародних досліджень, наукових звітів.

Результати дослідження та їх обговорення

Зміна клімату стає одним із головних чинників який впливає на сільське господарства у Східній Європі, зокрема в Україні. У Рівненській області, яка традиційно характеризується помірно-континентальним вологим кліматом, останні десятиліття відзначаються помітними кліматичними зрушеннями. Підвищення температури, нерегулярність опадів та

збільшення тривалості посушливих періодів змінюють аграрний ландшафт регіону. Усвідомлення цих впливів є важливим для розробки адаптаційних стратегій, спрямованих на збереження продуктивності аграрного сектору та забезпечення продовольчої безпеки.

Територія Рівненської області становить 2005,1 тис. гектарів, із яких 46,2 % припадає на сільськогосподарські угіддя (926,2 тис. га), у тому числі площа орних земель становить 658,0 тис. гектарів, що відповідає 70,8 % загальної площі сільськогосподарських угідь. Лісові та лісовкриті землі займають 805,8 тис. гектарів, що становить 40,2 % від загальної площі, водні об'єкти охоплюють 43,2 тис. гектарів (2,2 %), відкриті заболочені землі – 106,6 тис. гектарів (5,3 %), забудовані території – 59,6 тис. гектарів (3,0 %), інші категорії земель – 31,8 тис. гектарів (1,6 %). [6]

Аграрний сектор регіону спеціалізується переважно на вирощуванні зернових та зернобобових культур, технічних культур (зокрема цукрових буряків, ріпаку, соняшнику), картоплі й овочів, а також на виробництві продукції тваринництва, зокрема м'яса, молока та яєць.

У структурі валового виробництва сільськогосподарської продукції всіх категорій господарств переважає рослинництво, на яке припадає 68,5 %, тоді як тваринницька продукція становить 31,5 % (табл. 1).

Аналіз структури сільськогосподарського виробництва свідчить про наявність регіональної спеціалізації сільськогосподарського виробництва в Рівненській області. Відповідно, Дубенський та Рівненський райони вирізняються найбільшими площами вирощування зернових та технічних

Таблиця 1. Структура сільськогосподарського виробництва за адміністративними районами Рівненської області (2023 рік) [6]

Адміністра- тивні райони	Площа зер- нових (тис. га)	Урожай- ність зерно- вих (ц/ га)	Площа тех- нічних культур (тис. га)	Урожай- ність тех- нічних культур (ц/га)	Площа карто- плі (тис. га)	Урожай- ність карто- плі (ц/га)	Площа овочів (тис. га)	Урожай- ність овочів (ц/га)
Дубенський	85.0	42.5	22.0	30.5	8.0	140.0	2.0	170.0
Рівненський	80.0	41.0	18.5	29.0	12.0	135.0	3.5	175.0
Сарненський	45.0	36.5	7.5	25.0	18.0	130.0	2.0	165.0
Вараський	25.0	32.0	4.8	22.0	15.0	120.0	1.5	160.0

культур, що обумовлено сприятливими агрокліматичними умовами та родючістю ґрунтів. У Сарненському та Вараському районах спостерігається перевага у вирощуванні картоплі та овочевих культур через особливості ґрунтів і клімату.

За останні три десятиліття в Рівненській області спостерігається поступове підвищення середньорічної температури повітря. Ця тенденція відповідає загальним кліматичним змінам, що фіксуються в північних та північно-західних регіонах України. [6,10] Зміна клімату, зокрема підвищення температури повітря та збільшення тривалості посушливих періодів, має істотний вплив на сільське господарство. Цей вплив проявляється через зниження врожайності, зміщення агрокліматичних зон та підвищення ризику одночасних неврожаїв у регіоні. Це зумовлює необхідність адаптації аграрних технологій та впровадження заходів збереження ґрунтової вологи, особливо в центральних і південних районах області. Спостерігається також зменшення кількості рівномірно розподілених опадів у вегетаційний період і збільшення частоти посушливих явищ. Періоди тривалих посух почали спостерігатися частіше, особливо у вес-

няно-літні місяці, що є критичним для таких культур, як кукурудза, соя та озима пшениця. За період 1990–2023 років, середньорічна температура в області зросла на приблизно 1,2°C. Кількість літніх опадів зменшилася на 6–8 %, а кількість екстремальних опадів у весняно-осінній період зросла. Посухи нині фіксуються раз на 3–4 роки. [6,10] Таким чином, виявлені кліматичні тренди вказують на необхідність адаптації аграрного сектору Рівненської області до нових температурних та гідротермічних умов з метою збереження продуктивності агроєкосистем та економічної стійкості господарств. Відповідно був проведений просторовий аналіз аграрного виробництва та кліматичних впливів у Рівненській області за адміністративними районами, кожен із яких має різні кліматичні, ґрунтові та соціально-економічні особливості які визначають специфіку сільськогосподарського виробництва. Зокрема встановлено що Рівненський район є найбільш економічно перспективний для розвитку рослинництва (особливо кукурудзи, картоплі, овочів). Проблема – ризики літніх посух та необхідність запровадження технологій збереження вологи. Сарненський район: наявні зони з високим рівнем при-

Таблиця 2. Просторові особливості аграрного виробництва та кліматичних ризиків у адміністративних районах Рівненської області

Район	Основні напрями господарської діяльності	Кліматичні особливості	Основні ризики через зміну клімату
Рівненський	Рослинництво (зернові, картопля, овочі), молочне тваринництво	Помірно-континентальний клімат, достатня кількість опадів, ризик посушливих літ	Літні посухи, локальні зливи, ризик ерозії ґрунтів
Сарненський	Лісове господарство, частково рільництво (жито, картопля)	Підвищена зволоженість, високий рівень заболочення	Перезволоження ґрунтів, ризик втрати посівів у дощові роки
Дубенський	Вирощування зернових культур, кукурудзи, тваринництво	Клімат сприятливий, менша кількість опадів порівняно з північною областю	Дефіцит вологи у другій половині літа, посухи
Вараський	Лісозаготівля та деревообробка	Висока зволоженість території, зумовлена великою кількістю опадів, наявністю боліт та річок. Підвищена вологість повітря; невелика амплітуда температур між сезонами.	Підвищений ризик підтоплення, складні умови для інтенсивного землеробства без меліорації

родного зволоження, пріоритетний напрямок – розвиток культур, стійких до перезволоження (жито, багаторічні трави). Перспектива – агролісо-меліорація, розвиток тваринництва. Дубенський район: зона інтенсивного землеробства, проте зростає загроза літніх засух. Перспективно – розвиток стійких до посухи культур (кукурудза, соя) та застосування технологій мінімального обробітку ґрунту. Вараський район: переважно лісові території, сільське господарство має обмежене значення. Рекомендовано збереження природних екосистем, розвиток екологічного виробництва, органічного землеробства на невеликих площах. (табл 2.)

Кліматичні зміни вже впливають на сільське господарство Рівненської області, зокрема на врожайність і економічну ефективність вирощування основних культур. Згідно з даними Світового банку, в північних та північно-західних регіонах України, до яких належить Рівненщина, очікується під-

вищення врожайності озимої пшениці на 20–40% до 2050 року порівняно з 2010 роком, що пов'язано з підвищенням температур і збільшенням опадів. [9] Однак, ці позитивні зміни можуть супроводжуватися зростанням ризиків, таких як частіші посухи, екстремальні погодні явища та зміна типової рослинності, що у свою чергу, може негативно впливати на інші культури, зокрема кукурудзу та сою, які є чутливими до водного дефіциту. З огляду на це було оцінено ефективність вирощування сільськогосподарських культур в Рівненській області в умовах зміни клімату.

На основі аналізу ефективності вирощування сільськогосподарських культур у Рівненській області в умовах зміни клімату запропоновано оптимізовану структуру посівів (табл 4).

Висновки

Забезпечення стабільності сільськогосподарського виробництва

Таблиця 3. Ефективність вирощування сільськогосподарських культур у Рівненській області в умовах зміни клімату

Культура	Поточна прибутковість	Стійкість до змін клімату	Рекомендація щодо площі	Коментар
Плодові та ягідні культури	Дуже висока	Висока	Розширити площі	Висока рентабельність, адаптивність
Овочі відкритого ґрунту	Дуже висока	Висока	Розширити площі	Стабільна урожайність за нових умов
Картопля	Висока	Висока	Зберегти / незначно розширити	Потребує контролю за вологістю
Кукурудза	Висока	Висока	Підтримувати / розширити	Стійкість до підвищення температур
Ріпак	Середня	Середня	Оптимізувати технології	Потребує регулювання водного режиму
Соя	Середня	Середня	Оптимізувати технології	Потребує посухостійких сортів
Пшениця	Невисока	Середня	Зберегти з технологічною оптимізацією	Можливі втрати без адаптації технологій
Ячмінь	Низька	Низька	Скорочувати площі	Високі ризики економічних втрат
Соняшник	Низька	Низька	Скорочувати площі	Чутливість до літніх посух

Таблиця 4. Оптимальна структура посівів у Рівненській області в умовах зміни клімату

Група культур	Частка в структурі посівів (%)
Плодові та ягідні культури	15–20%
Овочі відкритого ґрунту	10–15%
Картопля	20–25%
Кукурудза	20–25%
Озима пшениця, соя, ріпак	15–20%
Ячмінь і соняшник	≤5%

в умовах зміни клімату потребує системного підходу, який поєднує агрокліматичний моніторинг, регіональну специфіку, використання кліматично стійких сортів, раціональне управління водними ресурсами та розробку адаптивних технологій. Кліматичні зміни дедалі відчутніше впливають на аграрне виробництво Рівненської області, зумовлюючи як прямі, так і опосередковані наслід-

ки для сільського господарства. Для Рівненщини, що має переважно помірно-континентальний клімат, характерними стали нестійкість погодних умов, часті весняні та осінні заморозки, посилення літніх посух і періодів аномальної спеки. Надмірні опади в північних районах області (Вараському, Сарненському) спричиняють підтоплення низин, заболочення, розмивання схилів і ярів, а в наслідок злив – ерозію ґрунтів. У південній частині області (Рівненський, Дубенський райони) дедалі частіше спостерігаються посухи, що призводить до зниження врожайності зернових і кормових культур. Також варто зазначити, що зміна клімату впливає і на водний баланс та доступність водних ресурсів, що особливо відчутно в межах малих річкових басейнів (Горинь, Стир, Случ, Уборть). Від інтенсивності опадів і рівня поверхневого стоку залежить водозабезпечення фермерських

господарств, особливо тих, що працюють на меліорованих землях Полісся.

Отже, до потенційних кліматичних загроз для сільського господарства області належать: зростання середньорічної температури повітря та збільшення кількості днів із температурою понад $+30^{\circ}\text{C}$; збільшення повторюваності посух, особливо у східній і південній частинах області; зростання кількості екстремальних опадів, які призводять до підтоплення і розмивання орних земель; підвищення пожежної небезпеки в лісах і на торфовищах північного Полісся; сприятливі умови для поширення шкідників і хвороб сільськогосподарських культур. Кліматичні зміни вже призводять до зміни структури землекористування. У регіоні спостерігається тенденція до скорочення площ під традиційними кормовими культурами та збільшення посівів технічних (ріпак, соя) і зернових культур, стійкіших до посух. Натомість у північних районах, де зберігається надлишок вологи, підвищується роль меліоративних систем і дренажної інфраструктури. Підвищення температурного режиму може спричинити зміщення агрокліматичних зон: частина території області може перейти з Поліської у Лісостепову зону, що відкриє можливості для вирощування теплолюбніших культур (кукурудзи, сої, пшениці озимої). Проте це потребує адаптації технологій вирощування, оновлення сортів і посилення агроеліоративних заходів. Поряд із ризиками, зміни клімату створюють і нові можливості для аграрного сектору Рівненщини. Подовження вегетаційного періоду сприятиме збільшенню кількості врожаїв, можливості впровадження нових сортів і культур. У північних районах зростають пер-

спективи розвитку ягідництва (лохина, чорниця, журавлина), органічного землеробства та виробництва екологічно чистої продукції. Водночас актуальним є розвиток інноваційних систем зрошування та водозбереження, цифрового моніторингу ґрунтової вологи, застосування адаптованих технологій мінімального обробітку ґрунту. Такі дії сприятимуть збереженню продовольчої безпеки, підвищенню економічної ефективності та екологічної стійкості агроєкосистем Рівненської області.

Список використаної літератури

1. Challinor A. J., Koehler A.-K., Ramirez-Villegas J., Whitfield S., & Das B. (2024). The global impacts of climate change on agriculture: Crop productivity, food security, and adaptation strategies. *Global Environmental Change*. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364815224001804> (дата звернення 15.11.2025)
2. Dorosh O., Kupriianchuk I., Dorosh Y., Butenko Y. Ukrainian agriculture in times of war: Analysis of support programmes. *Studies in Agricultural Economics*. 2024. Vol. 126, issue 2. DOI: <https://doi.org/10.7896/j.2875>
3. Moore, F. C., Baldos, U., Hertel, T., & Diaz, D. (2017). New science of climate change impacts on agriculture implies higher social cost of carbon. *Nature Communications*, 8, 1607. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41467-017-01792-x>
4. Olha Dorosh, Yevhen Butenko, Hryhorii Kolisnyk, Andriy Dorosh, & Iryna Kupriianchuk. The use of uavs: development, perspectives and application. *AgroLife Scientific Journal*, 10(2). 2021. DOI: <https://doi.org/10.17930/AGL202127>
5. Rosenzweig, C. et al. (2013) The Agricultural Model Intercomparison and

- Improvement Project (AgMIP): Protocols and pilot studies. *Agricultural and Forest Meteorology*. 2013, 170, p.166–182
6. Державна служба статистики України. Головне управління статистики в Рівненській області. URL: <https://www.gusrv.gov.ua> (дата звернення 15.11.2025)
 7. Звіт про клімат та розвиток України: сільське господарство. Київська школа економіки. 2024. URL: https://kse.ua/wp-content/uploads/2024/03/CSA_uk.pdf (дата звернення 15.11.2025)
 8. Методологія прогнозування впливу зміни клімату на продуктивність агро-екосистем. Інститут агроекології та управління навколишнім середовищем Національної академії аграрних наук України. 2019. URL: https://www.agroeco.org.ua/wpcontent/uploads/Publications/metod_recomendatsii/Vpliv%20zmin%20klimatu%20na%20produktivnist%20agroekosistem.pdf (дата звернення 15.11.2025)
 9. Особливості функціонування сільського господарства в умовах зміни клімату. Національний інститут стратегічних досліджень. 2024. URL: <https://niss.gov.ua/doslidzhennya/ekonomika/osoblyvosti-funktsionuvannya-silskoho-hospodarstv> (дата звернення 15.11.2025)
 10. Український гідрометеорологічний центр. URL: <https://www.meteo.gov.ua> (дата звернення 15.11.2025)
 - Butenko, Y. (2024). Ukrainian agriculture in times of war: Analysis of support programmes. *Studies in Agricultural Economics*, 126(2). doi.org/10.7896/j.2875
 3. Moore, F. C., Baldos, U., Hertel, T., & Diaz, D. (2017). New science of climate change impacts on agriculture implies higher social cost of carbon. *Nature Communications*, (8), 1607- 1689. doi.org/10.1038/s41467-017-01792-x
 4. Dorosh, O., Butenko, Y., Kolisnyk, H., Dorosh, A., & Kuprianchyk, I. (2021). The use of UAVs: Development, perspectives and application. *AgroLife Scientific Journal*, 10(2). doi.org/10.17930/AGL202127
 5. Rosenzweig, C., et al. (2013). The Agricultural Model Intercomparison and Improvement Project (AgMIP): Protocols and pilot studies. *Agricultural and Forest Meteorology*, 170, 166–182.
 6. State Statistics Service of Ukraine. Main Department of Statistics in Rivne Region. Available at: <https://www.gusrv.gov.ua>
 7. Kyiv School of Economics. (2024). Ukraine Climate and Development Report: Agriculture. Available at: https://kse.ua/wp-content/uploads/2024/03/CSA_uk.pdf
 8. Institute of Agroecology and Environmental Management of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine. (2019). Methodology for forecasting the impact of climate change on agroecosystem productivity. Available at: https://www.agroeco.org.ua/wpcontent/uploads/Publications/metod_recomendatsii/Vpliv%20zmin%20klimatu%20na%20produktivnist%20agroekosistem.pdf
 9. National Institute for Strategic Studies. (2024). Features of agricultural functioning under climate change conditions. Available at: <https://niss.gov.ua/doslidzhennya/ekonomika/osoblyvosti-funktsionuvannya-silskoho-hospodarstv>
 10. Ukrainian Hydrometeorological Center. Available at: <https://www.meteo.gov.ua>

References

1. Challinor, A. J., Koehler, A.-K., Ramirez-Villegas, J., Whitfield, S., & Das, B. (2024). The global impacts of climate change on agriculture: Crop productivity, food security, and adaptation strategies. *Global Environmental Change*, (10), 347-56. Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364815224001804>
2. Dorosh, O., Kuprianchyk, I., Dorosh, Y., &

Kupriianchuk I.

THE IMPACT OF CLIMATE CHANGE ON THE EFFICIENCY OF AGRICULTURAL CROP CULTIVATION IN RIVNE REGION

LAND MANAGEMENT, CADASTRE AND LAND MONITORING 4'25: 60-69.

<http://dx.doi.org/10.31548/zemleustriy2025.04.04>

Abstract. *This article examines the impact of climate change on the efficiency of agricultural crop cultivation in Rivne Region, which serves as a representative area for studying adaptation processes under changing climatic conditions in northwestern Ukraine. It has been established that rising average annual temperatures, decreasing uniform precipitation, and more frequent droughts significantly affect the yields of major crops and cause their spatial differentiation. The study includes a spatial analysis of agricultural production, an assessment of climate-related risks across the administrative districts of the region, and an identification of regional differences in the effects of climatic factors.*

An economic evaluation of the efficiency of growing various crops under the new climatic conditions was conducted. The results indicate the need to adjust crop structure in favor of more adaptive and profitable crops such as potatoes, maize, open-field vegetables, and fruit and berry crops. An optimized structure of cultivated areas, adapted to current agro-climatic conditions of the region, is proposed.

The study employs an interdisciplinary approach that integrates agro-climatic analysis, economic assessment, and spatial modeling. The findings can be used to develop strategies for adapting the agricultural sector to climate change, ensuring food security, and enhancing the economic resilience of agricultural production in Rivne Region and similar regions of Ukraine.

Keywords: *climate change; agriculture; economic efficiency; crop yield; agroclimatic risks; spatial analysis; crop structure; food security.*

ЕФЕКТИВНІСТЬ БІОМЕЛІОРАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ У ВІДНОВЛЕННІ ТА ПІДВИЩЕННІ РОДЮЧОСТІ ДЕГРАДОВАНИХ ҐРУНТІВ

О. П. ПАНАСЮК,

Старший викладач кафедри геодезії землеустрою та земельного
кадастру

E-mail: olga600917@ukr.net

Одеський державний аграрний університет

В. С. КОСТЮК,

кандидат біологічних наук, доцент

E-mail: kostyuk_vs@yahoo.com

Житомирський державний університет імені Івана Франка

Анотація. У статті розглянуто актуальну проблему деградації ґрунтів та обґрунтовано необхідність застосування біомеліораційних методів як ключового інструменту для відновлення їхньої родючості. Родючість визначається як сукупність трьох основних властивостей, а саме фізичних, хімічних та біологічних. Відзначено вплив біомеліораційних методів на відновлення родючості через накопичення органічної речовини, стимуляцію біологічної активності, покращення структури ґрунту. Досліджено основні біомеліораційні методи та їхній вплив. Розглянуто фіторемедіацію як захід, який направлений на зменшення токсичних елементів у забруднених ґрунтах, завдяки вирощуванню спеціальних рослин, здатних виводити або локалізувати токсичні речовини в кореневій зоні або надземній частині. Визначено роль органічного землеробства як методу біомеліорації. Представлено схему механізму впливу біомеліорації на родючість ґрунтів та рекомендації з впровадження комплексу біомеліораційних систем, для ефективного відновлення деградованих ґрунтів в Україні. Зазначено, що подальші дослідження мають бути спрямовані на розробку регіонально адаптованих біомеліораційних систем та оцінку довгострокового економічного ефекту від їхнього впровадження.

Ключові слова: деградація ґрунтів, родючість ґрунту, біомеліорація, сидерати, фітотомеліорація, фіторемедіація, мікробні препарати, органічне землеробство.

Постановка проблеми

Деградація ґрунтів, спричинена інтенсивним антропогенним навантаженням, змінами клімату та нераціональним землекористуванням, є глобальною екологічною та економічною проблемою. Втрата гумусу, погіршення фізичної структури, засолення, підкислення та зниження біологічної активності ґрунтів призводять до зменшення врожайності та стабільності агроecosистем. Традиційні хімічні та інженерно-меліоративні методи часто є економічно витратними та можуть мати негативний вплив на довкілля. У зв'язку з цим, біомеліорація – використання біологічних чинників (органічних добрив, рослин, мікроорганізмів) для поліпшення властивостей ґрунту – набуває стратегічного значення як екологічно безпечний і стійкий підхід.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Питання відновлення родючості деградованих ґрунтів за допомогою біомеліораційних методів постійно розглядається у сучасних наукових дослідженнях як в Україні, так і за кордоном. У праці А. Пасенка, О. Сакуна, О. Никифорової, О. Дуднік та М. Каминіної [1] акцентовано увагу на підвищенні біологічної активності ґрунтів шляхом агрохімічної меліорації із використанням нетрадиційних добрив. Автори доводять, що застосування органічних добрив природного походження сприяє активізації ґрунтової мікробіоти, покращенню структури ґрунту та збільшенню вмісту гумусу, що є основою підвищення його родючості. У роботі В. Волкогона «Біологічна меліорація

ґрунтів: традиційне і нове» детально розглянуто принципи та механізми біомеліорації, зокрема роль мікроорганізмів, сидератів і бобових культур у відновленні біохімічної рівноваги деградованих земель. Учений підкреслює, що біомеліораційні заходи є екологічно безпечними та економічно доцільними в системі сталого землекористування [2]. Питання біологічних методів ремедіації забруднених ґрунтів розкрито у статті В. Самохвалової, де розглянуто механізми нейтралізації токсичних сполук, зокрема важких металів, за допомогою рослинних і мікробіологічних агентів. Авторка доводить ефективність біотехнологічних підходів для очищення та відновлення ґрунтів у зоні техногенного навантаження [3].

Іноземні джерела підтверджують тенденцію до активного впровадження біомеліораційних методів. Так, у дослідженні «Assisted Phytoremediation for Soil Fertility Restoration on Polluted and Degraded Lands» [4] описано ефективність застосування фіторемердіації для підвищення родючості деградованих земель. Автори зазначають, що синергійне використання рослин і мікроорганізмів дозволяє не лише видаляти забруднювачі, а й покращувати фізико-хімічні властивості ґрунту. Подібні результати наведено у роботі «Study of Bioremediation and Soil Fertility: Effect of Vermiremediation on Chlorpyrifos-Contaminated Soil» [5], де дослідники довели, що використання дощових черв'яків сприяє покращенню структури ґрунту та відновленню його біологічної активності. Узагальнюючий огляд «Soil Bioremediation: Technologies and Trends» [6] висвітлює новітні технології очищення і відновлення ґрунтів,

серед яких найперспективнішими є мікробіологічна та фітотехнологічна ремедіація. У публікації «Degradation of Pesticides: Impact on Soil Fertility and Nutrient Cycling» [7] розкрито механізми впливу пестицидів на ґрунтову родючість, підкреслено важливість біологічних процесів у стабілізації кругообігу поживних речовин після деградації хімічних сполук.

Значну увагу вітчизняні науковці приділяють також правовим аспектам відновлення земель. У працях Т. Лісової [8] та Н. Гавриш, С. Позняка [9] проаналізовано сучасний стан нормативно-правового регулювання меліорації ґрунтів в Україні. Автори вказують на необхідність удосконалення законодавчої бази у сфері охорони земель та запровадження стимулюючих механізмів для суб'єктів господарювання, які впроваджують екологічно безпечні біомеліораційні технології.

Отже, аналіз публікацій свідчить про те, що біомеліораційні методи розглядаються науковцями як комплексний підхід до відновлення деградованих ґрунтів, що поєднує біологічні, екологічні та правові аспекти. Узагальнення досвіду показує, що їх застосування є перспективним напрямом у забезпеченні сталого землекористування та підвищенні продуктивності агроecosистем.

Мета дослідження полягає в аналізі та систематизації даних про вплив біомеліораційних методів на основні показники родючості деградованих ґрунтів.

Матеріали і методи дослідження

Дослідження було проведено із застосуванням інтегрованої мето-

дологічної рамки, що поєднувала аналітичні, польові, лабораторні та статистичні підходи, забезпечуючи всебічне оцінювання ефективності біоремедіаційних практик на деградованих ґрунтах. Емпірична частина дослідження охоплювала кілька типів українських ґрунтів – передусім чорноземи, сірі лісові ґрунти та легкі піщані субстрати, які є типовими прикладами територій, що зазнали ерозії, ущільнення, виснаження гумусу та агрохімічного дисбалансу. Для порівняння було досліджено як ділянки з традиційним землекористуванням, так і екологічно порушені. Біомеліоративні заходи включали застосування сидеральних культур, сівозмін із використанням бобових, мікробіологічних препаратів, компостованої органічної речовини та рослинних ремедіаційних агентів. Кожну технологію оцінювали щодо її внеску в поліпшення структури, накопичення поживних речовин, підвищення біологічної активності та відновлення екологічних функцій ґрунту. Польові експерименти передбачали систематичний відбір проб на фіксованих глибинах відповідно до стандартних агрохімічних протоколів.

Лабораторні аналізи виконували відповідно до національних та міжнародних стандартів, зокрема ДСТУ 4287:2004 для визначення вмісту гумусу, ДСТУ ISO 14235:2005 для оцінювання активного вуглецю методом окиснення перманганатом калію, а також ДСТУ 7863:2015 для визначення вмісту азоту, фосфору та калію. Мікробіологічну активність оцінювали методом підрахунку колоній та методом дихання субстрат-індукованої реакції. Показники рН ґрунту, щільність складання та агрегатний склад визначали за стандартними

грунтознавчими процедурами для оцінювання впливу біомеліорантів на фізичні властивості.

Просторову диференціацію показників якості ґрунтів і візуалізацію зон покращення виконували за допомогою ГІС-інструментів (ArcGIS Pro, QGIS), що дало змогу ідентифікувати просторові закономірності динаміки ґрунтового відновлення та забезпечити доказову інтерпретацію біомеліоративної ефективності.

Результати дослідження та їх обговорення

Проблема деградації ґрунтів є однією з найгостріших екологічних загроз сучасності. Деградація ґрунту розглядається як часткове або повне порушення функцій ґрунтової екосистеми. Складна взаємодія між природними факторами (наприклад, ґрунт, клімат, рослинний покрив, топографія) та антропогенними процесами (наприклад, урбанізація, землекористування, надмірне випасання худоби, воєнні дії) пов'язана з деградацією ґрунту. Європейський Союз визнав десять загроз для функцій ґрунту: водна та вітрова ерозія; зменшення органічної речовини; забруднення; утворення ґрунтової кірки; ущільнення; втрата біорізноманіття ґрунту; засолення; повені та зсуви; опустелювання; підкислення. Найбільш поширеними видами деградації є ерозія ґрунту (близько 13% орних земель Європи зазнає нестійких втрат ґрунту (>5 т га на рік), ущільнення (вражено близько 36% європейських ґрунтів), засолення (близько 3 мільйонів га європейських ґрунтів), забруднення (у Європі близько 2,5 мільйона потенційно забруднених ділянок, близько 14% з яких (340 000 ділянок) забруд-

нені та потребують заходів щодо відновлення) [4].

Другим типом є фізичне забруднення – зміна фізичних властивостей ґрунтів, як-от їхнє надмірне ущільнення. Також спостерігається хімічне забруднення, яке виникає через потрапляння токсичних речовин, важких металів та продуктів згоряння вибухівки, що призводить до отруєння ґрунту. І, нарешті, відбувається біологічне руйнування – масова загибель усього живого, особливо мікробіоти, що має вирішальне значення для родючості ґрунту [10]. Найбільш поширеними методами біомеліорації є: сидерація (використання зелених добрив); використання бобових культур; мікробіологічна меліорація; фітомеліорація; органічне землеробство (табл. 1).

Біомеліораційні методи діють комплексно, змінюючи як хімічні, так і біологічні властивості ґрунту. Органічна маса сидератів і післяжнивних решток розкладається мікроорганізмами, утворюючи гумусові речовини. Це поліпшує буферність і родючість ґрунту, наслідок чого проходить підвищення вмісту гумусу. За даними Інституту ґрунтознавства та агрохімії ім. О.Н. Соколовського, внесення сидератів у сівозміні сприяє підвищенню вмісту гумусу на 0,1–0,2% за 2–3 роки. Сидерати не лише утримують ключові поживні елементи (азот, фосфор, калій) в органічній формі, запобігаючи їх вимиванню та нітратному забрудненню ґрунтових вод. Вони, також, є потужним джерелом азоту: зелена маса додає в ґрунт приблизно 200–250 кг/га, що замінює 600–700 кг/га традиційних азотних добрив. Загалом, використання післяжнивних сидератів разом із побічною продукцією та кореневими рештками

Таблиця 1. Основні біомеліораційні методи та їхній вплив на властивості ґрунту

Метод біомеліорації	Основна суть	Вплив на ґрунт	Результат застосування
Сидерація (зелене добриво)	Вирощування рослин (гірчиця, люпин, жито, фацелія) з подальшим заорюванням.	Підвищує вміст органічної речовини, покращує структуру.	Зростання вмісту гумусу на 0,1–0,2% за 2–3 роки.
Бобові культури	Симбіоз із бактеріями <i>Rhizobium</i> для фіксації азоту.	Збагачують ґрунт біологічним азотом.	Підвищення азотного балансу на 40–60 кг/га.
Мікробіологічна меліорація	Внесення мікроорганізмів (мікориза, ризобактерії, фосфатмобілізатори).	Активізує ґрунтову мікрофлору, мобілізує елементи живлення.	Підвищення врожайності на 10–15%.
Фітомеліорація	Використання спеціальних рослин для рекультивації деградованих земель.	Закріплює схили, зменшує ерозію, покращує структуру.	Зниження ерозійних втрат ґрунту на 30–40%.
Органічне земле-робство	Використання компостів, гною, мульчі.	Підвищує вміст органіки, покращує водопроникність.	Стабілізація родючості, зменшення ущільнення ґрунту.

*Сформовано авторами на основі [4, 10]

повністю компенсує винос органіки. Це забезпечує додаткове надходження 68,4 центнера органічної речовини на гектар, що еквівалентно 1620 тоннам гною [11].

Важливим питанням у відновленні ґрунтів є активізація мікробіологічної діяльності. Біомеліорація стимулює розвиток корисної мікрофлори, що бере участь у мінералізації органічних сполук і колообігу поживних елементів. Мікроорганізми, такі як гриби та бактерії, виділяють полісахариди та інші біополімери, які діють як біологічний «клей», склеюючи дрібні ґрунтові частинки в стійкі агрегати, що є важливим для відновлення структури ґрунту, поліпшення його пористості, аерації та водопроникності, що, своєю чергою, запобігає ерозії та утворенню ґрунтової кірки. Мікробіологічна меліорація значно підвищує доступність поживних речовин. Азотфіксуючі бактерії (наприклад, ризобії) переводять атмосферний азот (N_2) у форми,

доступні для рослин, а фосфатмобілізуючі мікроорганізми розчиняють важкодоступні мінеральні сполуки фосфору та калію, роблячи ці елементи живлення придатними для поглинання рослинами. Так, найвищий рівень продуктивності сівозміни на дерново-підзолистих ґрунтах в перерахунку на кормові одиниці забезпечила орґано-мінеральна система удобрення сидерат+гній+NPK, що перевищувало продуктивність сівозміни на ділянках за традиційної системою удобрення – NPK+гній на 21% на фоні без інокуляції та на 26% – на фоні інокуляції [12].

Мікрофлора також відіграє ключову роль у гумусоутворенні, розкладаючи органічні рештки та синтезуючи стабільні гумусові речовини, які є основою довгострокової родючості. Нарешті, мікробіологічні процеси сприяють детоксикації ґрунту, оскільки певні групи бактерій здатні розкласти (біоремедіація) хімічні забруднювачі, такі як пестициди та

нафтопродукти, а антагоністичні мікроорганізми допомагають пригнічувати ґрунтові патогени. Особливо це важливо для відновлення деградованих ґрунтів внаслідок воєнних дій. Дослідження [10] показало, що внесення азотно-фосфорного мінерального добрива, соломи та біологічного препарату «Екостерн detox» як меліорантів позитивно позначилося на агрохімічних показниках ґрунту, що постраждав від воєнних дій Харківської області, та скорегувало мікробіологічні процеси в оптимальному напрямку, хоча й не виявило системної дії на динаміку вмісту рухомих форм важких металів. Сприятливий вплив меліоративних заходів на ґрунтове середовище був валідований біотестом: синергічна дія досліджуваних чинників забезпечила збільшення висоти рослин кукурудзи на 14,3–18,1%, надземної маси – на 24–46,2% та кореневої маси – на 13,3–14,3 %. У дослідях Уманського національного університету садівництва встановлено, що застосування мікробних препаратів типу Ризобіот та Фосфоентерин підвищує врожайність зернових на 10–15%, а коефіцієнт використання фосфору – на 25%.

Поліпшення структури ґрунту досягається завдяки кореневій системі сидератів, які розрихлюють ґрунт, покращуючи його аерацію та водопроникність. За даними досліджень Асканійської ДСДС ІЗЗ НААН, проведених на зрошуваних ділянках, потенціал сидеральних культур щодо підвищення ґрунтової родючості знаходиться в прямій залежності від обсягу внесеної ними біомаси. Кількість накопиченої біомаси є функцією комбінованої дії двох факторів: сприятливого гідротермічного ре-

жиму вегетаційного періоду та правильно обраних агротехнічних заходів. При цьому, дисковий обробіток ґрунту продемонстрував вищу ефективність для накопичення сирової маси сидератами, ніж застосування нульової технології (No-Till). Зокрема, при дисковому обробітку зафіксовано такі обсяги сирової сидеральної маси: 11,97 т/га (гречка), 10,13 т/га (буркун білий однорічний) та 14,47 т/га (фацелія пижмолиста). Нульова технологія забезпечила дещо нижчі показники: 10,74 т/га, 9,38 т/га та 13,25 т/га відповідно [13]. Таким чином, окультурювання ґрунту стимулює інтенсивніші процеси перетворення органічної речовини, водночас уповільнюючи її мінералізацію. Це означає, що окультурений ґрунт менше втрачає органіки, а швидкість біологічного кругообігу речовин та енергії в ньому зростає. Ключовою ознакою культурного ґрунтоутворення є підвищення біогенності ґрунту на тлі зниження інтенсивності розкладання органічних залишків, що свідчить про глибокі генетичні зміни у способі трансформації органіки [1].

Біомеліораційні методи є однією з найважливіших і найбільш ефективних груп заходів у боротьбі з ерозією ґрунтів, оскільки вони використовують рослинний покрив для захисту, зміцнення та відновлення родючості ґрунту. Ці методи спрямовані на створення стійкого біологічного бар'єру, який запобігає руйнівній дії води та вітру. Біомеліорація працює за кількома основними напрямками, що забезпечують комплексний захист від ерозії. По-перше, фізичне закріплення ґрунту кореневою системою рослин, запобігає їхньому змиванню (водна ерозія) або здуванню (вітрова ерозія). По-друге, надземна частина

рослин (листя, стебла, покривні культури) гасить енергію дощових крапель, не даючи їм руйнувати структуру ґрунту та утворювати поверхневу кірку. По-третє, рослинний покрив та пожнивні рештки сповільнюють швидкість поверхневого стоку води, що дає більше часу на її інфільтрацію (вбирання) та значно зменшує її руйнівну силу. І четверте, кореневі виділення та розкладання органічних решток сприяють агрегації ґрунту (утворенню міцних грудочок), що підвищує його водопроникність і стійкість до руйнування. Найбільш поширеними та ефективними біомеліораторськими заходами є:

- лісомеліорація – це створення захисних лісових насаджень (лісосулт, полезахисних смуг, прибалкових насаджень) на сільськогосподарських угіддях;

- ґрунтозахисні сівозміни – це науково обґрунтоване чергування культур у часі та на території, яке включає багаторічні трави та інші ґрунтопокривні рослини;

- залуження та дернування – цей метод передбачає створення постійного трав'яного покриву на найбільш ерозійно-небезпечних ділянках (крутих схилах, уздовж берегів водойм, на дні балок), де обробка ґрунту заборонена або недоцільна;

- використання покривних культур та мульчування. Покривні культури (сидерати) – рослини, які висівають у проміжках між основними культурами або після збирання врожаю. Вони покривають ґрунт у періоди, коли він зазвичай залишається оголеним, захищаючи його від ударів дощу та вітру. Мульчування органічними рештками – це залишення пожнивних решток (солома, стерня) на поверхні ґрунту (наприклад, при

технологіях No-Till або Mini-Till). Мульча запобігає прямому контакту дощу з ґрунтом, зменшує випаровування вологи та уповільнює стік. У степових регіонах фітомеліорація із застосуванням багаторічних трав (еспарцет, костриця) дозволила знизити ерозійні втрати ґрунту на 30–40%.

Зазначимо, що бобові культури забезпечують рослини біологічним азотом, а деякі види мікроорганізмів – доступним фосфором і калієм, що забезпечує оптимізацію поживного режиму ґрунтів. За даними досліджень, кожен гектар посіву люпину здатен накопичити 40-50 тонн органічної маси, яка є цінним джерелом органічного вуглецю та біологічного азоту. Окрім люпину, у зволожений зоні Полісся активно використовують інші бобові культури, такі як пелюшка, буркун та вика. Коли ці бобові сидерати заорюються в ґрунт разом із соломою та кореневими рештками ячменю, вони забезпечують значне підвищення вмісту поживних елементів: азоту – у 4 рази, фосфору – у 2,8 рази, а калію – у 2,5 рази. Оскільки сидерати містять невелику кількість лігніну та ароматичних сполук (тих, що беруть участь у формуванні гумусу), вони швидко мінералізуються. Це гарантує оперативне постачання вуглецю для живлення ґрунтових мікроорганізмів. Основними критеріями для вибору сидератів для проміжних посівів є їхня врожайність, тривалість вегетаційного періоду, фітосанітарні властивості та коефіцієнти розмноження насіння [11].

Важливим напрямом фітомеліорації є фіторемедіація – очищення ґрунтів від токсичних забруднювачів за допомогою рослин. Механізми фіторемедіації включають фітоекстракцію, деградацію, фільтрацію,

накопичення, стабілізацію та випаровування. Екстракція, трансформація та секвестрація ефективно видаляють такі забруднювачі, як важкі метали та радіонукліди. При цьому важливу роль відіграють рослини гіперакумулятори, які здатні рости на ґрунтах, що багаті на важкі метали, поглинаючи велику кількість цих металів під час періоду вегетації та не виявляти жодних ознак фітотоксичності [6]. Для очищення ґрунтів, забруднених внаслідок військової агресії, найбільш перспективними культурами є горох (*Pisum sativum* L.) та міскантус (*Miscanthus giganteus*), оскільки вони демонструють найширший діапазон поглинання токсичних речовин. При виборі конкретної культури для фітореMediaції важливим питанням є доцільності подальшого використання її біомаси. У цьому контексті енергетичні культури, що використовуються для виробництва пелет або брикетів, є кращим вибором. Зокрема, рицина (*Ricinus communis* L.) може бути перероблена на біоетанол, що вирішує проблему безпеки, оскільки її забруднена біомаса не потрапляє у харчовий ланцюг. Енергетичні культури, як-от міскантус (*Miscanthus giganteus*), не лише сприяють фітореMediaції, але й підвищують енергетичну стабільність країни, знижуючи залежність від викопного палива та розвиваючи відновлювані джерела енергії. Крім того, вибір культури для очищення ґрунтів має враховувати кліматичні особливості регіону. Наприклад, сорго (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) є доцільним для використання на півдні України завдяки його біологічній стійкості до високих температур [13].

Міжнародний досвід раціонального використання земельних угідь свідчить про надзвичайно високий

потенціал впровадження методів органічного землеробства. Біологічне землеробство, яке ще називають органічним, передбачає відмову від використання хімікатів не тільки для виробництва рослинницької продукції, а й для відтворення родючості ґрунту. Даний вид землеробства суттєво зменшує використання зовнішніх факторів виробництва та ресурсів за рахунок обмеження застосування синтезованих хімічним шляхом добрив і пестицидів та широкого використання природних чинників. Так ефективним напрямом біореMediaції ґрунтів, забруднених пестицидами, є компостування. Цей екологічно чистий метод біостимуляції полягає у мікробному розкладанні органічної речовини в окисних умовах для отримання стабільного органічного добрива. Завдяки термофільним температурам, що виникають під час процесу, внесення компосту підвищує та прискорює біорозклад пестицидів. Головними деструкторами забруднювачів є актиноміцети, гриби та нітрифікуючі бактерії, які є одночасно і рушіями рекультивациі, і індикаторами якості ґрунту [14]. Отже, біомеліораційні методи діють комплексно, змінюючи як хімічні, так і біологічні властивості ґрунту, створюючи умови підвищення родючості та сталість агроecosистем (рис. 1).

Для ефективного відновлення деградованих ґрунтів в Україні необхідно впроваджувати комплексні біомеліораційні системи, які будуть включати:

- запровадження ґрунтозахисних сівозмін, з обов'язковим включенням багаторічних трав та бобових культур для підвищення вмісту гумусу;
- активне використання сиде-

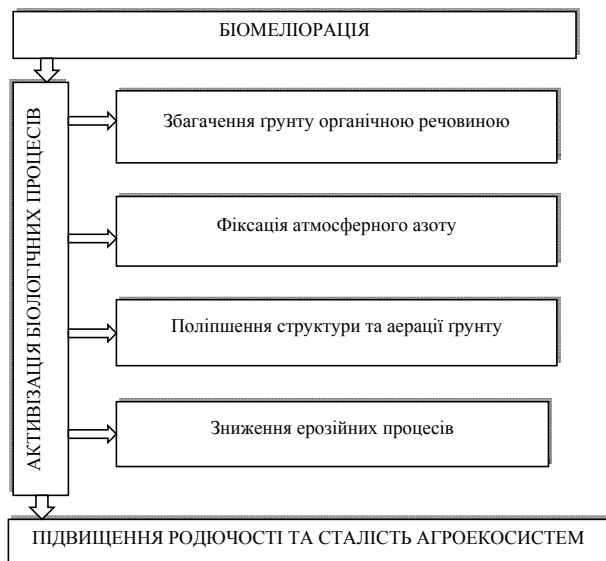


Рис. 1. Механізм впливу біомеліорації на родючість ґрунтів

*Примітка: Розроблено авторами

ратів (гречка, фацелія, буркун) для компенсації виносу органічної речовини та забезпечення ґрунту азотом;

- застосування фіторемедіації для очищення ґрунтів від токсичних забруднювачів, з використанням культур широкого діапазону поглинання та енергетичних культур, чия біомаса може бути перероблена на біоетанол чи пелети, що гарантує уникнення її потрапляння у харчовий ланцюг;

- вибір культур здійснюється з огляду на кліматичні особливості регіону;

- стимулювання мікробіоти, завдяки мікробним препаратам та компостуванню, що сприяє швидшому розпаду пестицидів та підвищує доступність поживних елементів для рослин;

- на державному рівні необхідне удосконалення законодавчої бази у сфері охорони земель та запрова-

дження стимулюючих механізмів для суб'єктів господарювання, які впроваджують екологічно безпечні біомеліораційні технології.

Висновки та пропозиції

Біомеліорація є важливим, екологічно безпечним та економічно доцільним підходом до відновлення деградованих ґрунтів. Вона розглядається як комплексний метод, що поєднує біологічні, екологічні та правові аспекти. Її застосування є перспективним напрямом для забезпечення сталого землекористування та підвищення продуктивності агроєкосистем. Біомеліораційні методи поєднують природні процеси відновлення із сучасними науковими підходами, забезпечуючи довготривале збереження ґрунтового потенціалу. В умовах України біомеліорація має стати одним із пріоритетних напря-

мів екологізації сільського господарства, адже саме вона здатна забезпечити баланс між продуктивністю, екологічною безпекою та економічною ефективністю. Подальші дослідження мають бути спрямовані на розробку регіонально адаптованих біомеліораційних систем та оцінку довгострокового економічного ефекту від їхнього впровадження..

Список використаної літератури

1. Пасенко А. В., Сакун О. А., Никифорова О. О, Дуднік О. В, Каминіна М. Ю. Біологічна активність ґрунтів при агрохімічній меліорації нетрадиційними добривами. Екологічна безпека. 2016. № 2(22). С. 97-102
2. Волкогон В.В. Біологічна меліорація ґрунтів. Традиційне і нове. Ґрунтова мікробіологія. *Сільськогосподарська мікробіологія*. 2011. Вип. 13. С. 7-22.
3. Самохвалова В. Л. Біологічні методи ремедіації ґрунтів, забруднених важкими металами. *Біологічні студії*. 2014. Том 8. № 1. С. 217 – 236 DOI: <https://doi.org/10.30970/sbi.0801.337>
4. Fiorentino N., Mori M., Cenvinzo V., Duri L.G., Gioia L., Visconti D., Fagnano M. Assisted phytoremediation for restoring soil fertility in contaminated and degraded land. *Italian Journal of Agronomy*. 2018. Vol. 13. P. 34-44. [https://doi.org/10.1016/S1125-4718\(24\)00265-2](https://doi.org/10.1016/S1125-4718(24)00265-2)
5. Tagliabue F., Marini E., De Bernardi A., Vischetti C., Brunetti G., Casucci C. A Bioremediation and Soil Fertility Study: Effects of Vermiremediation on Soil Contaminated by Chlorpyrifos. *Environments*. 2025. №12 (136). <https://doi.org/10.3390/environments12050136>
6. Sales da Silva I.G., Gomes de Almeida F.C., Padilha da Rocha e Silva N.M., Casazza A.A., Converti A., Asfora Sarubbo L. Soil Bioremediation: *Overview of Technologies and Trends. Energies*. 2020. №13 (4664). <https://doi.org/10.3390/en13184664>
7. Yasir M., Hossain A., Pratap-Singh A. Pesticide Degradation: Impacts on Soil Fertility and Nutrient Cycling. *Environments*. 2025. № 12. (272). <https://doi.org/10.3390/environments12080272>
8. Лісова Т. В., Меліорація земель як захід їх відновлення: сучасні проблеми правового забезпечення. *Право і суспільство*. 2022. № 1. С.104-111. DOI <https://doi.org/10.32842/2078-3736/2022.1.15>
9. Гавриш Н., Позняк С. Правове забезпечення меліорації ґрунтів в Україні. Рациональне природокористування і охорона природи *Наукові записки*. 2024. №1. С. 188-193. DOI:<https://doi.org/10.25128/2519-4577.24.1.22>
10. Корсун С.Г., Болоховська В.А., Болоховський В.В., Хоменко Т.О., Борко Ю.П., Дем'янюк О.С., Костина Т.П. Агроекологічне обґрунтування меліоративних чинників для відновлення ґрунтів, порушених воєнними діями. *Agroecological journal*. 2024. № 2. С. 100-112. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.2.2024.305663>
11. Городиська І.М., Кравчук Ю.А. Сидерація – один з чинників збереження родючості ґрунту в органічному землеробстві. Збалансоване природокористування. 2023. № 4. С. 135-144. DOI: [10.33730/2310-4678.4.2023.292740](https://doi.org/10.33730/2310-4678.4.2023.292740).
12. Потапенко Л.В., Горбаченко Н.І. Вплив систем удобрення та мікробних препаратів на формування поживного режиму дерново-підзолистого ґрунту. *Сільськогосподарська мікробіологія*. 2021. Вип. 34. С. 53–60. <https://doi.org/10.35868/1997-3004.34.53-60>
13. Дацько О.М., Яценко В.М. Сучасні методи ремедіації ґрунтів. Фіторемедіація як ключ до очищення ґрунтів та збереження екосистем. *Аграрні інновації*. 2024. № 25. С.20-24. DOI <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2024.25.3>
14. Ataikiru T. Lee-Ann, Ajuzieogu C.A.

Enhanced bioremediation of pesticides contaminated soil using organic (compost) and inorganic (NPK) fertilizers. *Heliyon*. 2023. №9. P. 2-16. DOI: 10.1016/j.heliyon.2023.e23133

References

1. Pasenko, A. V., Sakun, O. A., Nykyforova, O. O., Dudnik, O. V., & Kamynina, M. Yu. (2016). Biologichna aktivnist gruntiv pry ahrokhimichnii melioratsii netradytsiynny dobryvamy [Biological activity of soils during agrochemical reclamation with non-traditional fertilizers]. *Ekologichna bezpeka*, 2(22), 97–102.
2. Volkohon, V. V. (2011). Biologichna melioratsiia gruntiv. Tradytiine i nove [Biological reclamation of soils: Traditional and new]. *Gruntova mikrobiolohiia. Silskohospodarska mikrobiolohiia*, 13, 7–22.
3. Samokhvalova, V. L. (2014). Biologichni metody remediiatsii gruntiv, zabrudnennykh vazhkymy metalamy [Biological methods of remediation of soils contaminated with heavy metals]. *Biologichni studii*, 8(1), 217–236. <https://doi.org/10.30970/sbi.0801.337>
4. Fiorentino, N., Mori, M., Cenvinzo, V., Duri, L. G., Gioia, L., Visconti, D., & Fagnano, M. (2018). Assisted phytoremediation for restoring soil fertility in contaminated and degraded land. *Italian Journal of Agronomy*, 13, 34–44. [https://doi.org/10.1016/S1125-4718\(24\)00265-2](https://doi.org/10.1016/S1125-4718(24)00265-2)
5. Tagliabue, F., Marini, E., De Bernardi, A., Vischetti, C., Brunetti, G., & Casucci, C. (2025). A bioremediation and soil fertility study: Effects of vermiremediation on soil contaminated by chlorpyrifos. *Environments*, 12(136). <https://doi.org/10.3390/environments12050136>
6. Sales da Silva, I. G., Gomes de Almeida, F. C., Padilha da Rocha e Silva, N. M., Casazza, A. A., Converti, A., & Asfora Sarubbo, L. (2020). Soil bioremediation: Overview of technologies and trends. *Energies*, 13(4664). <https://doi.org/10.3390/en13184664>
7. Yasir, M., Hossain, A., & Pratap-Singh, A. (2025). Pesticide degradation: Impacts on soil fertility and nutrient cycling. *Environments*, 12(272). <https://doi.org/10.3390/environments12080272>
8. Lisova, T. V. (2022). Melioratsiia zemel yak zakhid yikh vidnovlennia: suchasni problemy pravovoho zabezpechennia [Land reclamation as a measure for their restoration: Current problems of legal regulation]. *Pravo i suspilstvo*, 1, 104–111. <https://doi.org/10.32842/2078-3736/2022.1.15> [in Ukrainian]
9. Havrysh, N., & Pozniak, S. (2024). Pravove zabezpechennia melioratsii gruntiv v Ukraini [Legal support of soil reclamation in Ukraine]. *Ratsionalne pryrodokorystuvannia i okhrona pryrody. Naukovi zapysky*, 1, 188–193. <https://doi.org/10.25128/2519-4577.24.1.22> [in Ukrainian]
10. Korsun, S. H., Bolokhovska, V. A., Bolokhovskiy, V. V., Khomenko, T. O., Borko, Yu. P., Demianuk, O. S., & Kostyna, T. P. (2024). Ahroekologichne obgruntuvannia melioratyvnykh chynnykiv dlia vidnovlennia gruntiv, porushenykh voienynyimi diiamy [Agroecological justification of reclamation factors for the restoration of soils disturbed by warfare]. *Agroecological Journal*, 2, 100–112. <https://doi.org/10.33730/2077-4893.2.2024.305663> [in Ukrainian]
11. Horodyska, I. M., & Kravchuk, Yu. A. (2023). Syd-eratsiia – ody z chynnykiv zberezhenia rodiuchosti gruntu v orhanichnomu zemlerobstvi [Green manuring as a factor of soil fertility preservation in organic farming]. *Zbalansovane pryrodokorystuvannia*, 4, 135–144. <https://doi.org/10.33730/2310-4678.4.2023.292740> [in Ukrainian]
12. Potapenko, L. V., & Horbachenko, N. I. (2021). Vplyv system udobrennia ta mikrobnykh preparativ na formuvannia

- pozhyvnoho rezhymu dernovo-pidzolysto-ho gruntu [Influence of fertilization systems and microbial preparations on the formation of the nutrient regime of sod-podzolic soil]. *Silskohospodarska mikrobiolohiia*, 34, 53–60. <https://doi.org/10.35868/1997-3004.34.53-60> [in Ukrainian]
13. Datsko, O. M., & Yatsenko, V. M. (2024). Suchasni metody remediatsii gruntiv. Fitorem–ediatsiia yak kliuch do ochyshchennia gruntiv ta zberezhennia ekosystem [Modern methods of soil remediation. Phytoremediation as the key to soil purification and ecosystem conservation]. *Ahrarni innovatsii*, 25, 20–24. <https://doi.org/10.32848/ahar.innov.2024.25.3> [in Ukrainian]
14. Ataikiru, T. L.-A., & Ajuzieogu, C. A. (2023). Enhanced bioremediation of pesticides contaminated soil using organic (compost) and inorganic (NPK) fertilizers. *Heliyon*, 9, e23133. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e23133>

Panasniuk O., Kostiuk V.

THE EFFECTIVENESS OF BIO-MELIORATION TECHNOLOGIES IN RESTORING AND IMPROVING THE FERTILITY OF DEGRADED SOILS

LAND MANAGEMENT, CADASTRE AND LAND MONITORING 4'25: 70-81.

<http://dx.doi.org/10.31548/zemleustriy2025.04.05>

Abstract. The article addresses the pressing issue of soil degradation and substantiates the necessity of applying biomelioration methods as a key tool for restoring soil fertility. The purpose of the study is to analyze and systematize data on the impact of biomelioration techniques based on fertility indicators of degraded soils. A comprehensive research approach was employed, which included the analysis of scientific publications as well as practical examples of biomelioration methods used to improve the fertility of degraded soils. Fertility is defined as a combination of three main properties: physical, chemical, and biological. The study highlights the influence of biomelioration methods on fertility restoration through the accumulation of organic matter, stimulation of biological activity, and improvement of soil structure. The main biomelioration techniques and their effects have been examined. Phytoremediation is considered as a measure aimed at reducing toxic elements in contaminated soils by cultivating special plants capable of removing or localizing toxic substances within the root zone or aerial parts. The role of organic farming as a biomelioration method has been determined. A schematic model illustrating the mechanism of biomelioration effects on soil fertility is presented, along with recommendations for implementing a complex system of biomelioration practices to effectively restore degraded soils in Ukraine. It is noted that further research should focus on the development of regionally adapted biomelioration systems and the assessment of the long-term economic impact of their implementation.

Keywords: soil degradation, soil fertility, biomelioration, green manures, phytomelioration, phytoremediation, microbial preparations, organic farming.

ГЕОДЕЗІЯ ТА ЗЕМЛЕУСТРІЙ. ТОПОГРАФО-ГЕОДЕЗИЧНЕ І КАРТОГРАФІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЗЕМЛЕВПОРЯДКУВАННЯ

УДК 528.8:042:004.946:719:94 (477.411)

<http://dx.doi.org/10.31548/zemleustriy2025.04.06>

ЛАЗЕРНЕ СКАНУВАННЯ І СТВОРЕННЯ ВІМ МОДЕЛІ КОРПУСУ № 1 НТУУ «КПІ ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО» ЯК МЕТОД ВІЗУАЛІЗАЦІЇ ІСТОРИКО-АРХІТЕКТУРНОЇ СПАДЩИНИ

І.П. КОВАЛЬЧУК,

доктор географічних наук, професор кафедри геодезії та картографії

Email: kovalchukip@nubip.edu.ua

ORCID: 0000-0002-2164-1259

М.С. КОЖЕМ'ЯКО,

магістрант 2-го року навчання кафедри геодезії та картографії

Email: nikitakozemiakons@gmail.com

ORCID: 0009-0007-5603-1331

П.С. КОЖЕМ'ЯКО,

магістрант кафедри геодезії та картографії

Email: polgoldman@gmail.com

ORCID: 0009-0001-1591-103X

О.О. КУЦЕНКО,

аспірант кафедри геодезії та картографії

Email: kutsenkijob@gmail.com

ORCID: 0009-0008-5814-8389

Д.Ю. МАТВІЙЧУК,

*магістрант 2-го року навчання
кафедри геодезії та картографії*

Email: dima220203@gmail.com

ORCID: 0000-0009-8452-2984

Національний університет біоресурсів і природокористування України

Анотація. статті охарактеризовано комплексний підхід до отримання та опрацювання даних після наземного лазерного сканування пам'ятки архітектури та створення BIM-моделі фрагмента фасаду історичної будівлі – Першого корпусу НТУУ «КПІ імені Ігоря Сікорського». У процесі виконання цієї роботи застосовано сучасні методи просторової фіксації досліджуваного об'єкта, включаючи високоточне 3D-сканування за допомогою сканера Leica ScanStation C10, реєстрацію хмар точок, фільтрацію даних та результати їх подальшого опрацювання у програмному забезпеченні Leica Cyclone REGISTER 360, Autodesk ReCap і побудову інформаційної 3D моделі цієї будівлі в середовищі Autodesk Revit.

Проаналізовано зарубіжний та вітчизняний досвід виконання робіт такого змісту. Показано, що одним із найефективніших способів просторового документування є наземне лазерне сканування (TLS), яке забезпечує отримання високоточної хмари точок, яка відображає реальну форму об'єкта з точністю до кількох міліметрів. Міжнародні дослідження свідчать, що технологія Scan-to-BIM є ключовою у процесах цифрової реставрації та планування реконструкцій історичних об'єктів. Зазначено, що в Україні бракує систематизованих прикладних досліджень, які б поєднували ці технології у комплексний алгоритм для конкретних історико-архітектурних об'єктів. Ця обставина вказує на практичну важливість даного дослідження та необхідність подальшого розвитку методик документування історичних фасадів із використанням сучасних геодезичних і геоінформаційних технологій.

Особливу увагу у статті приділено питанням забезпечення високої точності набору даних, алгоритмам реєстрації станцій, вибору параметрів сканування та можливостям подальшого використання моделі у реставраційних роботах, моніторинзі технічного стану та цифровій консервації об'єктів культурної спадщини. Модель рівня LOD 300 підтверджує можливість якісного відтворення геометрії історичних об'єктів із застосуванням технології Scan-to-BIM в українських реаліях.

Ключові слова: наземне лазерне сканування, хмара точок, TLS, BIM-модель, Scan-to-BIM, цифрова консервація, історична будівля, архітектурна спадщина, Autodesk Revit, Leica ScanStation C10, реєстрація хмар точок, Cyclone REGISTER 360, NBIM, реставрація фасадів, 3D-моделювання, геодезичне документування, інформаційне моделювання, точність вимірювань, LOD 300, цифрова реконструкція.

Актуальність дослідження

У сучасних умовах збереження архітектурної та історико-культурної спадщини України набуває особливої важливості. Воєнна агресія росії, фізичне старіння споруд, недостатнє фінансування реставраційних робіт та відсутність системної цифрової документації призводять до втрати унікальних архітектурних об'єктів,

які становлять національну культурну цінність. Високий ризик руйнування будівель під впливом зовнішніх факторів вимагає впровадження нових технологій фіксації їх фактичного стану, які здатні забезпечити довготривале збереження інформації про геометрію, конструктивні особливості та архітектурні деталі історичних об'єктів.

Одним із найефективніших способів просторового документуван-

ня є їх наземне лазерне сканування (TLS). Воно забезпечує отримання високоточної хмари точок, яка відображає реальну форму об'єкта з точністю до кількох міліметрів. Зібрані дані дозволяють здійснювати цифрову консервацію пам'яток, створювати повноцінні інформаційні моделі, аналізувати деформаційні процеси та планувати заходи з відновлення споруд. В умовах воєнних дій такі цифрові моделі можуть стати єдиним джерелом інформації про первісний вигляд об'єкта у разі його часткового або повного руйнування [4; 5].

Використання BIM-технологій значно розширює можливості аналізу та відтворення архітектурних об'єктів. Поєднання хмар точок із параметричним моделюванням дає змогу створювати 3D-моделі рівня LOD 300 і вище, що не лише відображають геометрію, але й забезпечують можливість додавання інформаційних атрибутів, інтеграції конструктивних даних та подальшого використання моделі у реставраційних, наукових або проєктних цілях. Міжнародні дослідження вказують, що технологія Scan-to-BIM є ключовою у процесах цифрової реставрації та планування реконструкції історичних об'єктів, особливо тих, що мають складну архітектурну пластику, численні декоративні елементи та нерівності поверхні [9; 10].

У контексті зростання потреби у цифровій інвентаризації архітектурних пам'яток України, розроблення та практичне застосування методики створення BIM-моделі історичного фасаду на основі лазерного сканування є актуальним і відповідає світовим тенденціям розвитку галузі. Застосування таких технологій сприяє підвищенню ефективності ремонтних

робіт, забезпечує достовірність геометричної інформації та створює надійну основу для збереження культурної спадщини в умовах сучасних загроз.

Аналіз останніх наукових досліджень і публікацій

У світовій науковій літературі питання тривимірного документування історичних об'єктів та створення їх цифрових моделей на основі лазерного сканування досліджується вже понад два десятиліття. Значний внесок у формування теоретичних та методичних засад цифрової фіксації архітектурної спадщини зробили праці M. Murphy, S. Pavia, E. McGovern, в яких запропоновано концепцію HBIM (Historic Building Information Modeling) та обґрунтовано застосування BIM-моделювання для реконструкції та реставрації історичних споруд [1].

У дослідженнях F. Remondino та A. Rizzi детально розглянуто процеси комбінування наземного лазерного сканування та фотограмметрії, які дозволяють створювати високоточні цифрові копії архітектурних об'єктів, включаючи складні фасадні структури, декоративні елементи та об'єкти культурної спадщини [2]. Автори підкреслюють, що використання хмар точок у поєднанні з сучасними алгоритмами моделювання забезпечує точність, необхідну для виконання реставраційних робіт.

Вагомий внесок у вивчення можливостей BIM-технологій для моделювання існуючих будівель зробили R. Volk, J. Stengel та F. Schultmann, які систематизували переваги та обмеження застосування BIM у реконструкції різних типів споруд та підкреслили важливість використання

даних TLS для створення моделей «as-built» [3]. У цих роботах наголошено, що точність початкових геодезичних даних є ключовою умовою для подальшого параметричного моделювання.

У дослідженнях С. Dore та М. Murphy окремо підкреслено важливість автоматизації процесів виявлення фасадних елементів у хмарах точок та їх трансформації у BIM-об'єкти [4]. Автори вказують, що створення алгоритмів розпізнавання архітектурних форм має велике значення для пришвидшення процесу моделювання та підвищення точності цифрової реконструкції.

Праці S. Fai, N. Graham та їх співавторів зосереджують увагу на практичному застосуванні лазерного сканування для створення високоточних цифрових копій історичних будівель, музеїв та архітектурних комплексів, підкреслюючи важливість повного охоплення об'єкта, правильного налаштування щільності сканування і точності реєстрації отриманих даних [5].

Серед праць, присвячених використанню BIM у збереженні культурної спадщини, вагоме місце займає огляд S. Bruno, M. De Fino та F. Fatiguso, в якому розглянуто можливість НВІМ як інструменту комплексної документації та управління історичними будівлями [6]. Автори зазначають, що НВІМ-моделі можуть поєднувати геометричну та атрибутивну інформацію, забезпечуючи цілісний підхід до реконструкції архітектурних об'єктів.

У новітніх дослідженнях 2024 року особливу увагу приділено інтеграції НВІМ із методами аналізу пошкоджень та стану збереженості історичних об'єктів. Так, у роботі L. Zhuo та співавторів запропоновано багатови-

мірний підхід до аналізу ушкоджень об'єктів архітектурної спадщини на базі об'єднання TLS-даних, оптичних зображень та структурних параметрів у середовищі НВІМ [13]. Автори продемонстрували, що поєднання геометричних та атрибутивних даних дозволяє значно точніше оцінювати стан історичних фасадів і прогнозувати їх подальше руйнування.

Ще один важливий напрям новітніх досліджень представлено у роботі М. Aricò (2024). В ній запропоновано Scan-to-BIM робочий процес, орієнтований на створення карт деградації фасадів у середовищі НВІМ [14]. Автор наголошує на важливості автоматизованого виявлення дефектів кладки, зміни фактури та тріщин на основі аналізу щільності хмари точок, що перспективно для реставраційних підходів.

Значний внесок у стандартизацію процесів цифрової реконструкції зроблено також групою дослідників М. Avena, G. Patrucco, F. Remondino та А. Spanò, які у 2024 році запропонували масштабований алгоритм автоматизації ключових етапів Scan-to-BIM для об'єктів культурної спадщини [15]. У роботі продемонстровано, що автоматичне сегментування хмар точок та генерація базових елементів BIM-моделі суттєво скорочують час моделювання та зменшують вплив людського фактора, що є особливо актуальним для складних фасадів історичних споруд.

Проблематика застосування лазерного сканування та BIM у контексті дослідження історичної спадщини активно розвивається й серед українських науковців. Зокрема, у публікаціях останніх років розглянуто можливості цифрової документації пам'яток архітектури, відтворен-

ня об'єктів історичного значення та формування 3D-моделей для музеїв і реставраційних проєктів [9–11]. У цих роботах підкреслюється важливість адаптації міжнародного досвіду до українських умов, зокрема в частині інвентаризації архітектурних об'єктів, які перебувають під загрозою руйнування.

Узагальнюючи дані аналізу літературних джерел, маємо підстави констатувати, що технології TLS і BIM є невід'ємною складовою сучасних підходів до цифрового моделювання і збереження архітектурної спадщини. Проте в Україні бракує систематизованих прикладних досліджень, які б поєднували ці технології у комплексний алгоритм для конкретних історичних об'єктів. Це визначає практичну важливість даного дослідження та необхідність подальшого розвитку методик документування історичних фасадів із використанням сучасних геодезичних і геоінформаційних технологій.

Мета дослідження. Метою дослідження є розроблення та обґрунтування методики створення високоточної BIM-моделі фасаду пам'ятки архітектури – Першого корпусу НТУУ «КПІ імені Ігоря Сікорського» – на основі даних наземного лазерного її сканування, а також визначення ефективності використання технології TLS для цифрової фіксації архітектурних об'єктів. У межах дослідження передбачено аналіз точності отриманої хмари точок, оцінювання відповідності BIM-моделі фактичному стану об'єкта та формування алгоритму практичного застосування технології Scan-to-BIM для задач реставрації, моніторингу і цифрової консервації архітектурної спадщини.

Матеріали і методи наукового дослідження

Матеріалами дослідження є дані наземного лазерного сканування фасаду історичної будівлі, отримані нами за допомогою сканера Leica ScanStation C10, а також результати їх подальшого опрацювання у програмному забезпеченні Leica Cyclone REGISTER 360, Autodesk ReCap та Autodesk Revit. Польові роботи виконувалися за умов міської забудови, що вимагало використання декількох станцій сканування для забезпечення повного покриття ділянки фасаду.

Алгоритм дослідження включав наступні кроки і види робіт:

- отримання хмари точок методом наземного лазерного сканування;
- реєстрацію сканів за алгоритмом Cloud-to-Cloud із подальшою ручною корекцією;
- очищення хмари точок від сторонніх об'єктів та шумів;
- експорт даних у форматах E57 та RCP для подальшої роботи;
- формування BIM-моделі фасаду в середовищі Autodesk Revit шляхом моделювання основних архітектурних елементів на підставі хмари точок;
- контроль точності моделі шляхом накладання геометрії на хмару точок та аналізу відхилень.

Виконані дослідження та отримані дані забезпечили можливість створення цифрової моделі рівня LOD 300 і виконання подальшого аналізу геометричних характеристик фасаду сканованої архітектурної пам'ятки.

Результати дослідження та їх обговорення

Матеріали дослідження представлені вихідними геодезичними



**Рисунок 1. Фасадна частина першого корпусу
НТУУ «КПІ імені Ігоря Сікорського»**

вимірюваннями, хмарами точок, отриманими в результаті наземного лазерного сканування історичної будівлі, а також даними, сформованими на етапах опрацювання сканів у вказаному спеціалізованому програмному забезпеченні. Ці роботи проводилися на прикладі фасаду історичної споруди, що є цінним зразком архітектурної спадщини і має складну геометричну структуру, властиву будівлям кінця XIX – початку XX століття (рис.1).

Польові роботи виконувалися в умовах обмеженого міського простору, наявності припаркованого транспорту та складних кутів огляду. З огляду на це, оптимальне розміщення станцій сканування було визначено з урахуванням забезпечення максимальної видимості декоративних елементів і мінімізації «мертвих зон» на фасаді (рис. 3).

Для збирання первинних даних застосовувався наземний лазерний



**Рисунок 2. Наземний лазерний
сканер Leica ScanStation C10**

сканер Leica ScanStation C10 (рис. 2), який є широко використовуваним інструментом у практиці архітектурних і деформаційних знімань. Основні технічні характеристики сканера,

який використовувався у нашій роботі, наведені нижче:

- дальність роботи – до 300 м;
- реальна точність вимірювань – до 6 мм на 50 м;
- швидкість сканування – до 50 000 точок/с;
- можливість кольорової зйомки при використанні зовнішньої камери.

Польові роботи виконувалися в умовах обмеженого міського простору, наявності припаркованого транспорту та складних кутів огляду. З огляду на це, оптимальне розміщення станцій сканування було визначено з урахуванням забезпечення максимальної видимості декоративних елементів і мінімізації «мертвих зон» на фасаді (рис. 3).

Сканування виконувалося зі стандартною щільністю, придатною для моделювання фасадів історичних будівель, з акцентом на деталізацію дрібних архітектурних форм [7; 8].

Під час проведення польових знімальних робіт було розміщено кіль-

ка станцій та виконано сканування об'єкта з них. Такий підхід забезпечив повне покриття фасаду та його просторову фіксацію з різних ракурсів. Розташування станцій опиралося на принцип перекриття сканованої поверхні щонайменше на 30–40 %, що гарантувало якісну реєстрацію на етапі з'єднання хмар точок.

Первинна реєстрація та опрацювання сканів здійснювалися у програмному забезпеченні Leica Cyclone REGISTER 360, яке дозволило:

- виконати автоматичне попереднє зшивання даних зі станцій;
- здійснити ручну реєстрацію в місцях недостатнього перекриття;
- оптимізувати хмару точок, видаливши шуми та артефакти;
- провести контроль точності реєстрації;
- експортувати дані у форматах E57 та RCP для подальшого 3D моделювання.

Контроль з'єднання станцій виконано за допомогою інструментів реєстрації за методом «Cloud-to-Cloud».

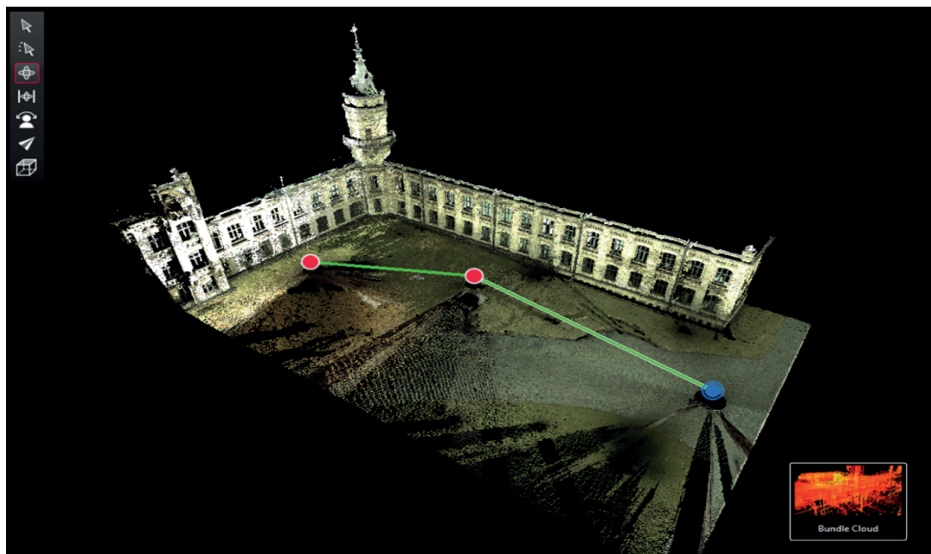


Рисунок 3. Розташування станцій сканування на місцевості

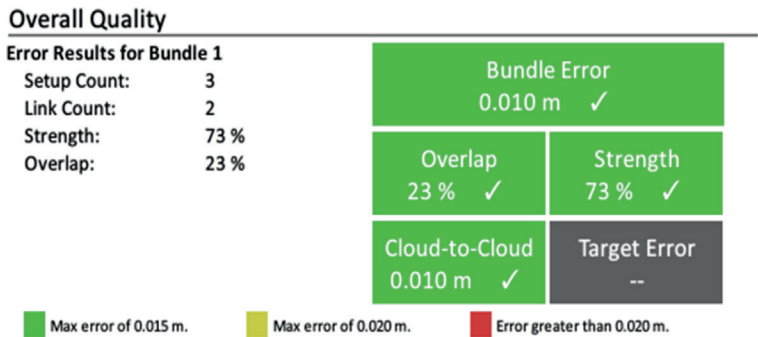


Рисунок 4. Викопіювання з кінцевого звіту про результати якості зшивання

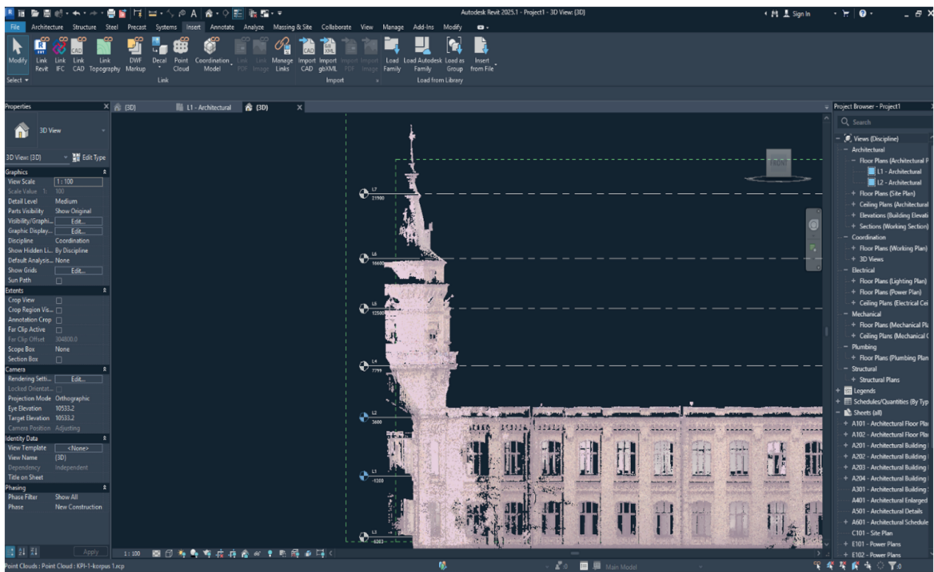


Рисунок 5. Система висотних рівнів у програмі Autodesk Revit 2025

Середнє відхилення становило не більше 8–10 мм (рис. 4), що відповідає вимогам до моделювання фасадів у рівні деталізації LOD 300 [3, 6].

Після імпорту хмари точок у форматі .RCP в середовище Autodesk Revit було сформовано базову просторову структуру моделі (рис.5):

- створено сітку рівнів (Levels) відповідно до фактичних конструктивних горизонталей;
- визначено головні осі фасаду;

- виконано прив'язку координат моделі до хмари точок.

Основний контур стін будівлі формувався з допомогою інструмента Wall, причому товщина та положення кожної стіни уточнювалися на підставі хмари точок. Аналіз графічних перетинів показав відхилення між фактичною поверхнею та моделлю, що не перевищують 5 мм, що відповідає вимогам для LOD 300 [6].

Архітектура фасаду містить чис-

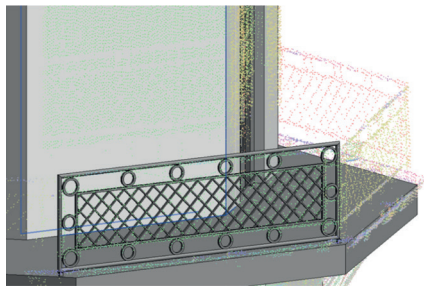


Рисунок 6. Параметричне сімейство огорож



Рисунок 7. Високоточне 2D креслення на основі BIM моделі

ленні аркові прорізи. Для їх моделювання використовувалися (рис. 6):

- інструменти профільного моделювання,
- in-place families,

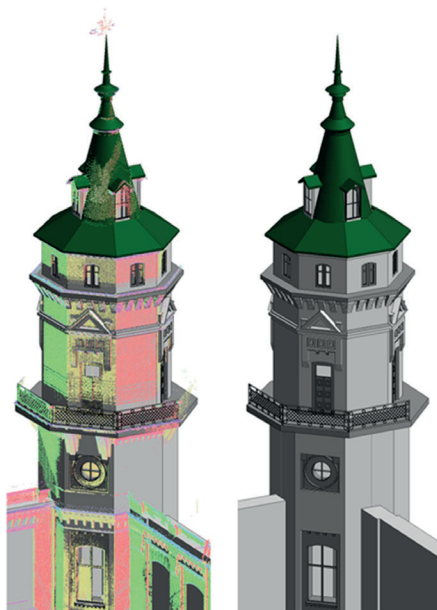


Рисунок 8. Актуальний стан першого корпусу НТУУ «КПІ імені Ігоря Сікорського» (фрагмент – права вежа)

- імітація дуг за точками хмари.

Складні профілі будівлі моделювалися за допомогою:

- Sweep,
- Extrusion,
- побудови індивідуальних сімейств.

Створення профілів вимагало закладання значної кількості контрольних перерізів хмари точок. Такий підхід забезпечив точне відтворення криволінійних архітектурних форм, що виступало одним з важливих завдань удосконалення методики сканування будівель і створення їх 3D моделей.

Для підтвердження точності моделі виконано процедуру накладання BIM-елементів на хмару точок. Контрольні перерізи показали, що:

- середнє відхилення становить 3,2 мм,
- максимальне відхилення досягає 8 мм у зонах пошкодженої кладки,
- мінімальне відхилення становить 1,5 мм.

Отримані результати відповідають міжнародним нормам моделювання історичних фасадів (рис. 7-8) [1; 4; 12].

Висновки

У результаті виконаного дослідження було здійснено комплексний аналіз можливостей застосування технології наземного лазерного сканування та BIM-моделювання для документування і цифрової реконструкції історичних архітектурних об'єктів. На основі отриманих даних сформовано інформаційну модель фрагмента фасаду історичної будівлі, що дозволило всебічно оцінити ефективність методики Scan-to-BIM у задачах збереження культурної спадщини.

По-перше, встановлено, що використання наземного лазерного сканування забезпечує отримання високоякісних та інформативних хмар точок із деталізацією, достатньою для відтворення складних архітектурних форм. Застосування кількох станцій сканування та методики перекриття сканів дозволило досягти просторової злагожденості даних і зменшити кількість «мертвих зон», що є важливою умовою для роботи з історичними об'єктами, які можуть містити численні дрібні деталі та нерівності поверхні. Середні похибки реєстрації не перевищили прийнятих у геодезії значень, що свідчить про високу точність отриманих вихідних даних.

По-друге, створення BIM-моделі у середовищі Autodesk Revit підтвер-

дило можливість високоточного відтворення геометрії фасаду на основі хмари точок. Використання інструментів BIM дозволило змоделювати основні конструктивні елементи: арочні прорізи, карнизи, профільовані пояски та інші декоративні складові будівлі. Отримана модель рівня LOD 300 відтворює фактичний стан фасаду та може ефективно застосовуватися у подальших реставраційних, проєктних і дослідницьких роботах.

Загалом, виконане дослідження підтверджує високу ефективність застосування технології лазерного сканування та інформаційного моделювання у сфері документування і реставрації історичних фасадів. Застосований алгоритм може бути адаптований для досліджень широкого спектра архітектурних об'єктів і слугувати методичною основою для подальших наукових і практичних робіт з цифрового документування культурної спадщини України.

Список використаної літератури

1. Pavlovskis M., Migilinskas D., Antuchevičienė J., Kutut V. Implementing BIM for industrial and heritage building conversion. *Engineering Structures*, 2019. DOI: <https://doi.org/10.3846/colloquium.2019.003>
2. Autodesk University. Scan-to-BIM Workflows: Best Practices for Creating As-Built Models from Point Cloud Data. Autodesk, 2018. URL: <https://www.autodesk.com/autodesk-university>. (дата звернення 3.12.2025 року)
3. Leica Geosystems. Leica ScanStation C10. Technical Specifications and User Manual. Heerbrugg: Leica Geosystems AG, 2015. URL: https://www.unsw.edu.au/content/dam/pdfs/engineering/civil-environmental/sage/teaching-and-learning/surveying-instruments/SC_LA_C5_C10_ZU.pdf.

- (дата звернення 3.12.2025 року)
4. Leica Geosystems. Cyclone REGISTER 360 User Guide. 2020. URL: <https://rcdocs.leica-geosystems.com>. (дата звернення 3.12.2025 року)
 5. Murphy M., McGovern E., Pavia S. Historic Building Information Modelling (HBIM). Structural Survey, 2009. DOI: <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/02630800910985108>
 6. Volk R., Stengel J., Schultmann F. Building Information Modeling (BIM) for existing buildings: Literature review and future needs. Automation in Construction, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2013.10.023>
 7. Dore C., Murphy M. Semi-automatic generation of as-built BIM façade geometry from laser and image data. Journal of Information Technology in Construction, 2014. URL: <https://www.itcon.org/2014/2>. (дата звернення 3.12.2025 року)
 8. Fai S., Graham K., Duckworth T., Wood N. Building Information Modelling and Heritage Documentation. International Journal of Architectural Computing, 2013. URL: <https://pdfs.semanticscholar.org>. (дата звернення 3.12.2025 року)
 9. Дехтяренко Д. О., Оболонков Д. Ф. Цифрові методи реконструкції та відтворення стародавніх міст та споруд за допомогою геодезії. Збірник наукових праць ДонНАБА, 2024. URL: <https://donnaba.edu.ua/journal/wp-content/uploads/2024/04/11-16.pdf>. (дата звернення 3.12.2025 року)
 10. Коцюбівська К., Баранський С. 3D-моделювання при відновленні історико-культурних цінностей. Культура і сучасність, 2020. DOI: <https://doi.org/10.31866/2617-796x.3.1.2020.206109>
 11. Шевченко О., Опенько І., Тихенко Р., Степчук Я. Порівняльний аналіз геодезичних знімків для лазерного сканування фасадів будівель: лазерне сканування, тахеометричне знімання та LiDAR смартфона. International Young Professionals Conference "GeoTerrace-2023", 2023. DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2023510102>
 12. Becerik-Gerber B., Jazizadeh F., Li N. Application areas and data requirements for BIM-enabled facility management. Journal of Construction Engineering and Management, 2012. DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0000433](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000433)
 13. Zhuo L., Zhang J., Hong X. Cultural heritage characteristics and damage analysis based on multidimensional data fusion and HBIM – taking the former residence of HSBC bank in Xiamen as an example. Heritage Science, 2024, 12. DOI: <https://doi.org/10.1186/s40494-024-01238-w>
 14. Aricò M. Scan-to-BIM Process and Architectural Conservation: an HBIM-based workflow for decay mapping. Heritage, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3390/heritage7020019>
 15. Avena M., Patrucco G., Remondino F., Spanò A. A scalable approach for automating Scan-to-BIM processes in the heritage field. ISPRS Archives, 2024, XLVIII-2/W4, 25–31. DOI: <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLVIII-2-W4-25-2024>
-

References

1. Ministry for Communities and Territories Development of Ukraine. (2019). DBN B.2.2-12:2019. Planning and development of territories. Budstandart Online. Available at: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=83211.
2. Dorosh, O. S., & Tretiachenko, D. V. (2021). Planuval'na dokumentatsiya yak instrument upravlinnya zemlyamy zahal'noho korystuvannya [Planning documentation as a tool for managing public land]. *Advanced Nature Management*, (4), 55–61.
3. Verkhovna Rada of Ukraine. (2001). Land Code of Ukraine: Law of Ukraine No. 2768-

- III of 25.10.2001. Legislation of Ukraine. Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2768-14>.
4. State Committee for Land Resources of Ukraine. (2010). Instruction on the establishment (restoration) of land plot boundaries in nature (on site) and their fixation with boundary markers: Order No. 376 of 18.05.2010. Legislation of Ukraine. Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1025-10#Text>.
 5. Martyn, A., Hushchuk, S., & Hunko, L. (2011). Rozmezhuвання zemel' derzhavnoyi ta komunal'noyi vlasnosti: nova kontseptsiya [Delimitation of state and municipal land ownership: a new concept]. *Land Management Bulletin*, (11), 5–12.
 6. Martyn, A. H. (2011). Rehulyuvannya rynku zemel' v Ukraini [Regulation of the land market in Ukraine]. Kyiv: Agrar Media Group, 252.
 7. Novakivska, I. O., Blyzniuk, V. V., & Bereza, O. V. (2024). Stale zemlekorystuvannya v umovakh formuvannya mis'kykh ahlomeratsiy: vyklyky ta perspektyvy [Sustainable land use in the context of urban agglomeration formation: challenges and prospects]. *Scientific Innovations and Advanced Technologies*, 6(34), 928–941.
 8. Ministry of Economy of Ukraine. (2023). Approval of NC 018:2023 “Classifier of buildings and structures”: Order No. 1982 of 30.11.2023. Legislation of Ukraine. Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1888-23#Text>.
 9. State Committee for Land Resources of Ukraine. (1998). Technical guidelines for determining the boundaries of land plots in joint and joint partial ownership of individuals and legal entities in built-up areas of settlements. Legislation of Ukraine. Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/n0009400-98#Text>.
 10. Legifrance. (n.d.). General Code of Public Property: Articles L.3112-1, L.3112-2; R.3211-2. Available at: <https://www.legifrance.gouv.fr/codes/id/LEGISC-TA000006170184/>
 11. Enemark, S. (Ed.). (2021). Fit-for-purpose land administration — Providing secure land rights at scale. *Land*, 10(9), 972. Available at: <https://www.mdpi.com/2073-445X/10/9/972>.
 12. Kaufmann, J., & Steudler, D. (1998). Cadastre 2014: A vision for a future cadastral system. Copenhagen: FIG. Available at: <https://www.fig.net/resources/publications/figpub/cadastre2014/translation/c2014-english.pdf>.
 13. Federal Institute for Research on Building, Urban Affairs and Spatial Development (BBSR). (2016). Model Building Code (MBO): Version of November 2002, last amended by resolution of the Conference of Building Ministers on 13.05.2016. Available at: <https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/veroeffentlichungen/sonderveroeffentlichungen/2016/musterbauordnung.html>.
 14. Sejm of the Republic of Poland. (n.d.). Act of 21 August 1997 on Real Estate Management (consolidated text). ISAP. Available at: <https://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/Doc-Details.xsp?id=WDU1997115074>
 15. Williamson, I., Enemark, S., Wallace, J., & Rajabifard, A. (2010). Land administration for sustainable development. Redlands, CA: ESRI Press. Available at: https://eng.unimelb.edu.au/__data/assets/pdf_file/0004/3929728/land-admin-for-sustainable-development.pdf.

**Kovalchuk I., Kozhemiako M., Kozhemiako P., Kutsenko O., Matviichuk D.
LASER SCANNING AND CREATION OF A BIM MODEL OF THE BUILDING NO.
1 NTUU "IGOR SIKORSKY KPI" AS A METHOD OF VISUALIZING HISTORICAL
AND ARCHITECTURAL HERITAGE**

LAND MANAGEMENT, CADASTRE AND LAND MONITORING 4'25: 82-94.

<http://dx.doi.org/10.31548/zemleustriy2025.04.06>

Abstract. The article describes a comprehensive approach to obtaining and processing data after terrestrial laser scanning of an architectural monument and creating a BIM model of a fragment of the facade of a historic building – the First Building of the Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute. In the course of this work, modern methods of spatial fixation of the object under study were used, including high-precision 3D scanning with a Leica ScanStation C10 scanner, point cloud registration, data filtering, and the results of their further processing in Leica Cyclone REGISTER 360 and Autodesk ReCap software, and the construction of an informational 3D model of this building in the Autodesk Revit environment.

Foreign and domestic experience in performing such work has been analyzed. It has been shown that one of the most effective methods of spatial documentation is terrestrial laser scanning (TLS), which provides a high-precision point cloud that reflects the actual shape of an object with an accuracy of several millimeters. International studies show that Scan-to-BIM technology is key in the processes of digital restoration and planning of reconstructions of historical objects. It is noted that Ukraine lacks systematic applied research that would combine these technologies into a comprehensive algorithm for specific historical and architectural objects. This circumstance indicates the practical importance of this research and the need for further development of methods for documenting historical facades using modern geodetic and geoinformation technologies.

The article pays particular attention to ensuring high data accuracy, station registration algorithms, scan parameter selection, and the potential for further use of the model in restoration work, technical condition monitoring, and digital conservation of cultural heritage objects. The LOD 300 model confirms the possibility of high-quality reproduction of the geometry of historical objects using Scan-to-BIM technology in the Ukrainian context.

Keywords: terrestrial laser scanning, point cloud, TLS, BIM model, Scan-to-BIM, digital preservation, historic building, architectural heritage, Autodesk Revit, Leica ScanStation C10, point cloud registration, Cyclone REGISTER 360, HBIM, facade restoration, 3D modeling, geodetic documentation, information modeling, measurement accuracy, LOD 300, digital reconstruction.

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ЕВОЛЮЦІЇ ЕЛЕКТРОННИХ ГЕОДЕЗИЧНИХ ПРИЛАДІВ: КОНЦЕПТУАЛЬНІ ЗАСАДИ ІНТЕГРАЦІЇ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ В СИСТЕМИ ПРОСТОРОВОГО УПРАВЛІННЯ ТА ГЕОІНФОРМАЦІЙНОГО СЕРЕДОВИЩА

О.С. МАЛАЩУК,

кандидат економічних наук, доцент

E-mail: osmalashcuk@gmail.com

Одеський державний аграрний університет

Т.В. МОВЧАН,

кандидат економічних наук, доцент

E-mail: mov4an.tata@gmail.com

Одеський державний аграрний університет

Т.А. РОЖІ,

викладач

E-mail: tomas.rozhi.94@gmail.com

Уманський державний педагогічний університет імені Павла Тичини

Анотація. досліджує питання інтелектуалізації електронних геодезичних інструментів у контексті систем публічного менеджменту, акцентуючи трансформацію від автоматизованих процедур до адаптивних самонавчальних технологічних рішень з інтеграцією принципів цифрової етики. Реалізовано алгоритмічний аналіз із залученням розширеного фільтра Калмана (EKF) та рекурентних неймережових архітектур довгої короткочасної пам'яті (LSTM) для адаптивної фільтрації інформаційних потоків, а також методів геопросторової статистики та ГІС-візуалізації для верифікації координатної консистентності. Отримані наукові результати свідчать, що інтелектуалізація детермінує трансформацію до когнітивних систем із сенсорною інтеграцією (GNSS, IMU, EDM), досягаючи міліметрової точності через застосування алгоритмів штучного інтелекту, зокрема EKF та LSTM, для прогностичного моделювання похибок та автокорекції. Встановлено, що хмарна інфраструктура та інтероперабельність із ГІС-платформами (ArcGIS, QGIS) формують уніфіковане цифрове середовище з механізмами валідації даних, що підвищує метрологічну стабільність та етичну підзвітність систем.

Практична значущість дослідження визначається вдосконаленням систем публічного управління, зокрема урбаністичного планування, земельно-кадастро-

вого обліку та інфраструктурного моніторингу, де інтелектуалізовані прилади забезпечують оновлення даних у режимі реального часу та превентивне управління ризиками. Дослідження сприяє підвищенню транспарентності державних реєстрів через цифрові паспорти вимірювань, редукуючи похибки та юридичні колізії в геоінформаційному середовищі. Перспективи подальших наукових розвідок передбачають розробку етичних стандартів для штучного інтелекту в геодезії та інтеграцію з технологіями Інтернету речей (IoT) для створення глобальних мереж моніторингу.

Ключові слова: інтелектуалізація, геодезичні прилади, сенсорна інтеграція, штучний інтелект, геоінформаційні системи, публічне просторове управління.

Постановка проблеми

Інтелектуалізація електронних геодезичних приладів становить пріоритетний вектор еволюції сучасної геодезичної науки, відображаючи глобальну тенденцію трансформації від автоматизованих вимірювальних процесів до розробки адаптивних, самонавчальних і етично збалансованих технологічних рішень. У межах цифрової трансформації системи публічного просторового управління в Україні впровадження інтелектуальних тахеометричних комплексів, глобальних навігаційних супутникових систем (GNSS) та лазерно-сканувальних пристроїв у державні геоінформаційні інфраструктури формує фундамент для створення уніфікованого цифрового середовища достовірності, де кожна координатна позиція має верифіковане походження, а кожен вимірювальний акт – метрологічну валідність і юридичну релевантність. Науково-практична значущість дослідження обумовлена необхідністю підвищення точності, транспарентності та репродуктивності просторових даних, що застосовуються в урбаністичному плануванні, земельно-кадастровому обліку, інфраструктурному моніторингу та екологічному спостереженні.

Аналіз останніх наукових досліджень і публікацій

У науковому дискурсі спостерігається чітка тенденція до конвергенції електронних геодезичних технологій із методологією штучного інтелекту, машинного навчання та сенсорної інтеграції. Наукові розвідки від Коваленко Л. [2], Войчік М. та ін. [16] акцентують трансформацію від традиційних автоматизованих інструментів до когнітивних систем, спроможних автономно адаптувати параметри вимірювань та реалізовувати автокалібрування в режимі реального часу. У публікаціях Батракова А. та ін. [1], Стефанова А. [15] розкрито потенціал цифрових геодезичних систем у забезпеченні просторової стабільності та прецизійності при зведенні інженерних об'єктів, а також у генерації цифрових моделей рельєфу на основі комплексних вимірювальних даних. Дослідники Ступень О. та ін. [6] наголошують на значущості впровадження геоінформаційних технологій у публічне управління, особливо в контексті кадастрового моніторингу та земельного упорядкування. У роботах Байрамі Лубіші Ф., Лубіштані М. [10], Сехнал М. [13] представлено підходи до автоматизації процесів геодезичного контролю через засто-

сування хмарних сервісів і модулів валідації інформації. Сукупність представлених наукових позицій засвідчує, що інтелектуалізація геодезичних приладів становить визначальний фактор оптимізації систем публічного просторового управління.

Метою дослідження є – визначення поточних процесів інтелектуалізації нових поколінь електронного геодезичного обладнання для використання оцінки стану геоінформаційного середовища, які спрямовані на формування цілісної технологічної, алгоритмічної та етичної моделі їхнього функціонування.

Матеріали і методи дослідження

Методологічний апарат дослідження базується на системному, структурно-функціональному та кіберфізичному концептуальних підходах до вивчення процесів інтелектуалізації електронних геодезичних інструментів у контексті публічного просторового менеджменту. У роботі реалізовано комплексне застосування теоретичних і емпіричних методів: аналітичного – для систематизації тенденцій еволюції сенсорних технологій і алгоритмів штучного інтелекту; моделювання – для конструювання архітектурних схем інтегрованих геодезичних систем із сенсорною інтеграцією; метрологічного експерименту, з метою оцінювання прецизійності та стійкості вимірювань у варіативних умовах зовнішнього середовища. Здійснено алгоритмічний аналіз для дослідження адаптивної фільтрації інформаційних потоків та прогностичного моделювання дрейфу сенсорів із застосуванням розширеного фільтра Калмана (ЕКФ) і рекурентних ней-

ронних мереж довгої короткочасної пам'яті (LSTM). Додатково залучено методи геопросторової статистики та ГІС-візуалізації для верифікації координатної узгодженості в процесі інтеграції вимірювальних пристроїв із геоінформаційними платформами.

Застосовано методи порівняльного аналізу для співставлення технічних характеристик різних поколінь електронних тахеометрів, цифрових нівелірів і GNSS-приймачів з метою визначення рівня їхньої адаптивності до умов автоматизованого управління. Використано інструментарій хмарної аналітики для моделювання процесів передавання та збереження геоданих у режимі реального часу, що дозволило оцінити ступінь інтеграційної сумісності між приладами та публічними геопорталами. Метод експертного оцінювання застосовано для визначення вагомості інтелектуальних модулів у підвищенні точності вимірювань і зниженні похибок позиціонування.

Результати дослідження та їх обговорення

Інтелектуалізація геодезичних приладів постає закономірним етапом у розвитку вимірювальних технологій, коли перехід від оптичних до електронних систем вже не задовольняє вимоги до точності, швидкості та когнітивної автономії процесів збору просторових даних, а тому виникає потреба у створенні сенсорних комплексів, здатних до самонавчання, контекстної адаптації та взаємодії з навколишнім середовищем у режимі реального часу. Сучасні електронні тахеометри, лазерні сканери та GNSS-приймачі втілюють нову парадигму геодезичного вимірювання, де

точність не лише стала функцією апаратної стабільності, але й результатом алгоритмічного мислення, яка формує систему прогнозування, коригування й аналізу похибок на рівні, раніше доступному лише людині [3, с. 19].

Сутність переходу полягає у впровадженні в архітектуру геодезичного приладу принципів штучного інтелекту, машинного навчання та сенсорного ф'южну, які вміють не просто збирати інформацію, а інтерпретувати її у контексті складної багатофакторної реальності. Алгоритми глибинного навчання, зокрема нейронні мережі з розповсюдженням похибки, дедалі частіше використовуються для моделювання відхилень у роботі світлодалекомірів, прогнозування метеорологічних впливів або компенсації температурних деформацій. Сенсорний ф'южн, як технологічна платформа поєднання даних із різних джерел – лазерного далекоміра, IMU, GNSS-модуля та оптико-електронного трекара дає системі здатність до внутрішньої самокорекції, підвищуючи метрологічну стабільність навіть у нестабільних польових умовах. Сенсорна інтеграція у геодезичних приладах нового покоління має поліструктурний характер, через охоплення взаємодії лазерних далекомірів, GNSS-приймачів, оптико-електронних систем наведення, інерціальних модулів (IMU), а також MEMS-датчиків мікроскопічних коливань, температури та вібрацій [14, с. 149-150]. Кожен із цих сенсорів функціонує не ізольовано, а в межах системи сенсорного поєднання, де інформація з різних каналів поєднується для створення єдиного адаптивного вимірювального середовища.

Усередині архітектури інтелектуальних систем формується унікаль-

ний механізм динамічної узгодженості даних, коли кожен сенсор має ваговий коефіцієнт достовірності, який змінюється залежно від середовища вимірювання. Наприклад, у зоні слабого GNSS-сигналу вагомішими стають дані інерціальних сенсорів і оптичного трекара, тоді як у відкритій місцевості головну роль відіграє супутникова прив'язка. Ці технічні рішення реалізовані у системах Leica Nova та Trimble S-серії, стають основою досягнення точності в міліметровому діапазоні навіть за складних метеоумов або обмеженого доступу до базових станцій (табл. 1) [9].

Алгоритмічне забезпечення інтелектуальних геодезичних систем є центральною складовою, оскільки саме воно перетворює багатовимірний потік даних у структуровану модель простору. У таких приладах використовується комбінація алгоритмів адаптивної фільтрації, кореляційного аналізу, машинного навчання та нейромережних моделей прогнозування дрейфу. Наприклад, фільтр Калмана у розширеній формі (EKF) застосовується для синхронізації GNSS і IMU, і об'єднує інерціальні вимірювання з супутниковими координатами, що зменшує похибку положення до кількох міліметрів [16]. Нейронні мережі на базі LSTM (Long Short-Term Memory) на базі систем координат UTCN, використовуються для передбачення поведінки сенсорів у часі, особливо для компенсації дрейфу лазерного далекоміра чи температурних відхилень фотодетектора (рис. 1).

У приладах серії Topcon DS та Trimble S8/S9 реалізовано інтелектуальні алгоритми самоналаштування, які аналізують параметри довкілля та оптимізують режим вимірювання в реальному часі: при підвищеній во-

Таблиця 1. Сенсорна інтеграція та функціональні модулі інтелектуальних геодезичних систем

Тип сенсора / модуля	Основна функція	Технічні характеристики	Взаємодія в системі	Приклади застосування
Лазерний далекомір (EDM)	Вимірювання відстані до мішені за принципом фазового зсуву або імпульсу	Дальність: до 5 км на призму; точність: $\pm(1-2)$ мм	Синхронізується з GNSS і IMU для компенсації похибки нахилу	Моніторинг деформацій споруд, зйомка кар'єрів
GNSS-приймач (RTK/PPP)	Визначення координат із глобальних супутникових систем	Точність RTK: 8–10 мм; час ініціалізації: <5 с	Забезпечує абсолютну геопросторову прив'язку системи	Геодинамічні спостереження, кадастрові роботи
Оптико-електронна система наведення	Автоматичне визначення й супровід візирної цілі	Швидкість обертання: до 100°/с; точність наведення: 1"	Синхронізується з EDM і IMU; працює у замкненому контурі з автотрекером	Роботи моніторингу будівельних конструкцій
IMU (інерціальний модуль)	Визначення кутових прискорень, нахилів, вібрацій	Гіроскопи 3 осі, акселерометри 3 осі; частота 200 Гц	Виконує компенсацію коливань і динамічну стабілізацію	Автоматизована тахеометрія, роботи в русі
MEMS-датчики мікроклімату	Контроль температури, тиску, вологості	Точність температури $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$; частота оновлення 1 Гц	Передає корекційні коефіцієнти для EDM і оптичних систем	Автокорекція рефракції при далекомірних вимірюваннях
Камера / відеотрекер	Візуальне розпізнавання мішені та навколишнього середовища	Роздільна здатність 12–24 Мп; ШП-обробка кадру	Інтегрується з системами комп'ютерного зору; забезпечує автотрекінг	3D-сканування, фотограмметрія, VR-візуалізація

Джерело: [9, 14]

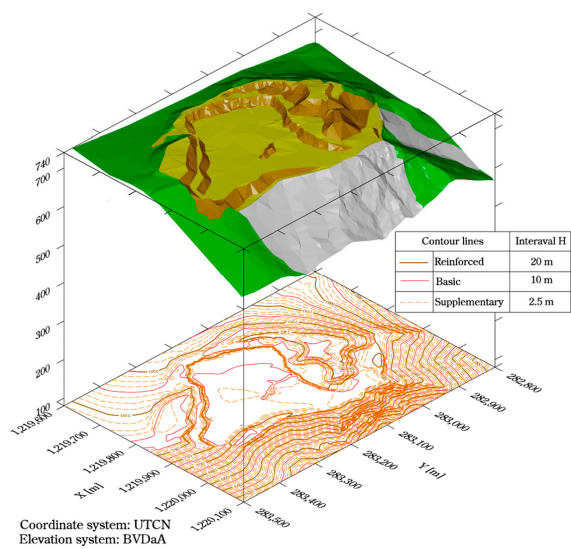


Рисунок 1 – Тривимірна модель рельєфу з ізолініями висот у системі координат UTM

Джерело: [16]

логості автоматично збільшується потужність лазера, а при інтенсивному сонячному випромінюванні активується режим спектральної компенсації.

Система ІІІ, вбудована в модуль керування, використовує машинні алгоритми на основі дерева рішень для класифікації умов спостереження, що дозволяє зменшити кількість некоректних спостережень. Вагому роль у функціонуванні інтелектуальних тахеометрів відіграють модулі самодіагностики та калібрування, які здійснюють постійний контроль геометричної стабільності приладу, виявляють аномальні коливання бази та компенсують їх без зупинки процесу вимірювання [4, с. 82]. У системах Leica Nova реалізовано трирівневу схему самодіагностики: на першому рівні проводиться перевірка внутрішнього датчика нахилу, на другому –

оцінка стабільності оптичної осі, а на третьому відбувається корекція електронного горизонту за даними ІМУ. Це дає можливість підтримувати метрологічну точність у межах $\pm 1''$ без необхідності періодичної ручної перевірки (табл. 2).

Інтелектуалізація приладів неможлива без розвиненої хмарної інфраструктури, яка забезпечує збір, зберігання та обмін просторовими даними між польовими пристроями та центральними серверами. Геодезичні прилади нової генерації мають вбудовані модулі бездротового зв'язку (LTE/5G, Wi-Fi, Bluetooth 5.2), що дозволяють у режимі реального часу передавати результати спостережень на публічні геопортали, інтегровані з системами державного кадастру, BIM-моделями та платформами просторового планування. Через API-інтерфейси прилади

Таблиця 2. Алгоритмічне забезпечення та штучний інтелект в інтелектуальних геодезичних системах просторового забезпечення

Компонент алгоритмічного забезпечення	Основні функції	Реалізовані технології	Результати/ефекти	Приклади систем
Адаптивна фільтрація сигналів	Згладжування шумів, компенсація похибок вимірювання	Розширений фільтр Калмана (EKF), Unscented KF	Підвищення точності позиціонування GNSS+IMU до 5 мм	Trimble S9, Leica Nova TS60
Машинне навчання для прогнозування дрейфу	Виявлення систематичних змін у роботі сенсорів	LSTM, Random Forest	Автоматична компенсація температурних і механічних зсувів	Topcon DS, FOIF RTS005A
Сенсорний ф'южн і кореляційна обробка	Об'єднання даних з різних сенсорів	Bayesian Fusion, Cross-Correlation Model	Усунення розбіжностей між EDM, GNSS і IMU	Leica GS18, Trimble SX10
Нейромережевий контроль стабільності приладу	Визначення відхилень у роботі компонентів	CNN, Decision Tree Ensemble	Самоналаштування геометрії системи в реальному часі	FOIF RTS005, Leica Nova
Автоматичне розпізнавання мішеней	Ідентифікація цілей за візуальними ознаками	Computer Vision, YOLOv8	Автоматичне наведення з точністю 0.5"	Trimble S8, Leica TS60
Прогнозування умов спостереження	Аналіз впливу довкілля на вимірювання	Time Series Forecasting, Gaussian Process	Автоматична оптимізація потужності лазера й параметрів оптики	Topcon DS, Trimble SX12

Джерело: [1, 7]

взаємодіють з хмарними сервісами типу Trimble Connect, Leica Infinity, Topcon MAGNET або FOIF Cloud, де здійснюється автоматичне архівування, побудова 3D-моделей і створення цифрових двійників місцевості [11, с.40].

У цих типах сервісів реалізовано механізми спільної роботи кількох операторів, коли результати вимірювань від різних приладів автоматично об'єднуються в єдину базу, а алгоритми просторової валідації перевіряють узгодженість координат, визначаючи ступінь довіри до кожної точки. Це створює основу для публічних систем моніторингу інфраструктури, де дані оновлюються в реальному часі без потреби у фізичній присутності фахівців на місці спостереження. Хмарні архітектури також відкривають можливості для впровадження цифрової етики у вимірювальних процесах: кожен запис вимірювання зберігається із цифровим підписом оператора, міткою часу та журналом калібрування приладу, що гарантує

відтворюваність і достовірність результатів [12]. У перспективі ці дані формуватимуть «етичні паспорти» геодезичних операцій, де кожна координата матиме історію своєї перевірки, корекції та використання [2].

У межах геоінформаційної взаємодії ключову роль відіграє сумісність між інтелектуальними тахеометрами, лазерними сканерами, безпілотними аеросистемами (UAV-GIS) і платформами обробки даних на кшталт ArcGIS, QGIS, MapInfo, Global Mapper або національних геопорталів. Завдяки підтримці відкритих форматів обміну: GeoJSON, WMS/WFS, GML, CityGML, LAS, коли забезпечується миттєве завантаження польових вимірювань до центральних репозиторіїв, де вони проходять автоматичну перевірку на узгодженість із існуючими кадастровими та топографічними базами [8, с. 101]. Особливістю інтелектуальних систем є те, що вони не лише передають геодані, а й супроводжують їх повним пакетом технічної інформації



Рисунок 2. Фрагмент аерофотознімка з окресленою зоною геодезичного дослідження інфраструктурного об'єкту

Джерело: [13]

ції – калібрувальними метаданими, історією зміни параметрів приладу, валідаційними звітами та цифровими підписами оператора (рис. 2).

Сучасні геоінформаційні системи ArcGIS Pro або QGIS із модулем QField уже підтримують пряме підключення до польових приладів Leica, Trimble або FOIF, що працюють у режимі RTK. При цьому координати, отримані приладом, синхронізуються із центральною базою через протоколи MQTT або REST API, що дозволяє не лише передавати дані, але й отримувати оновлення про зміни контурів земельних ділянок, транспортної інфраструктури чи геодинамічних процесів [5].

Кадастровий облік, який традиційно спирався на дискретні зйомки, у цифрову епоху поступово перетворюється на неперервний процес моніторингу, де кожен вимір має підтверджену трасу походження. Інтелектуальні геодезичні системи забезпечують автоматизовану трасованість даних через генерацію унікальних ідентифікаторів для кожного вимірювання, які зв'язуються з електронним підписом оператора, координатами GNSS, часом фіксації та версією приладного програмного забезпечення. У межах державних кадастрових реєстрів ці метадані інтегруються з електронними журналами вимірювань, що дозволяє в автоматичному режимі підтверджувати автентичність результатів і виключати можливість їх маніпуляцій.

Інтелектуальні прилади, об'єднані у мережі IoT, формують багатоточкові системи спостереження, у яких кожен сенсор передає дані про мікрозміщення об'єкта, температурні деформації чи вібраційні збурення. Об'єднані з геоінформаційною плат-

формою, ці дані автоматично аналізуються алгоритмами машинного навчання, які розпізнають аномальні зміни та попереджають про ризики руйнування або просідання ґрунтів. Для органів публічного управління це означає можливість переходу від реактивного до превентивного управління інфраструктурними ризиками, коли рішення приймаються на підставі безперервного просторового аналізу, а не постфактум.

З метою забезпечення відтворюваності та метрологічної узгодженості результатів в межах інтегрованих систем використовується принцип багаторівневої валідації даних, який передбачає автоматичну перевірку кожного вимірювання на рівні сенсора, приладу, геоінформаційної бази та державного реєстру. На першому рівні перевіряється внутрішня консистентність даних, як відповідність між виміряними координатами, кутами та відстанями. На другому рівні система порівнює дані з попередніми спостереженнями, фіксуючи відхилення понад допустимі нормативи [15]. На третьому рівні виконується верифікація із зовнішніми базами (наприклад, Державним земельним кадастром, де автоматичні алгоритми встановлюють відповідність контурів земельних ділянок та атрибутивних даних (табл. 3).

Однією з найскладніших і водночас найцінніших складових інтеграції є забезпечення інтероперабельності між системами різних рівнів управління: територіальних громад та державного рівня. З погляду методології публічного управління, інтеграція інтелектуальних геодезичних приладів радикально змінює саму логіку прийняття управлінських рішень: якщо раніше аналітика формувалася на основі звітів і періодичних зйомок,

Таблиця 3. Інтеграція інтелектуальних геодезичних приладів у системи публічного просторового управління (сформовано авторами)

Сфера застосування	Тип інтеграції	Основні інструменти та технології	Алгоритмічні механізми	Очікувані результати для публічного управління
Просторове планування	Інтеграція даних з приладів у ГІС-шари містобудівних моделей	ArcGIS Pro, QGIS, CityGML, BIM-інтерфейси	Просторове узгодження координат, аналіз топологічних конфліктів, симуляція транспортних потоків	Оперативне оновлення містобудівних документів, підвищення точності прогнозування розвитку територій
Кадастровий облік	Передача вимірювань із цифровим підписом у державні кадастрові бази	GNSS-RTK + REST API інтеграція з ДЗК	Автоматичне створення метаданих, перевірка цифрових підписів, трасування вимірювань	Зменшення кількості помилок у кадастрових записах, підвищення довіри до геоданих
Моніторинг інфраструктури	Постійне спостереження за станом об'єктів через IoT-мережі	Trimble Monitoring, Leica GeoMoS, FOIF Cloud	Швидке виявлення, предиктивна аналітика, автоматичні сповіщення	Превентивне управління ризиками руйнування, оптимізація ремонтних робіт
Екологічний моніторинг	Інтеграція геоданих з приладів і сенсорів у системи спостереження за ландшафтом	UAV-GIS, супутникові знімки, OpenDataHub	Мультиспектральний аналіз, кореляція з кліматичними моделями	Оцінка антропогенного впливу, підтримка рішень зі сталого землекористування
Публічна візуалізація та прозорість	Відкриті геопортали для громадян і органів місцевого самоврядування	INSPIRE Geoportal, Національна геоінформаційна інфраструктура	API-доступ до шарів, контроль версій, цифрова сертифікація даних	Зростання прозорості управлінських процесів, громадський контроль просторових рішень
Юридична та метрологічна валідація	Перевірка даних у державних реєстрах на відповідність стандартам ISO 191xx	Blockchain-трасування, сертифікація приладів	Багаторівнева верифікація, контроль калібрування	Підвищення надійності просторових записів, зниження рівня технічних ризиків

Сформовано авторами

то сьогодні управлінець працює з потоковими даними, що оновлюються щохвилини, дозволяючи застосовувати принципи «evidence-based policy» у реальному часі [3]. Це означає, що рішення про оновлення меж земельної ділянки, ремонт мосту або регулювання забудови можуть прийматися на основі даних, які зібрані приладами кілька хвилин тому, що принципово підвищує ефективність і відповідальність державного управління.

На завершення слід підкреслити, що комплексна інтеграція інтелек-

туалізованих геодезичних систем у структуру публічного просторового управління ініціює формування нової парадигми просторової верифікації, в межах якої кожна метрична одиниця, координатна величина та межова лінія набувають статусу цифрово валідованих елементів просторового знання. Така система не лише оптимізує якість управлінських рішень на основі просторових даних, а й забезпечує суспільну легітимність державних інформаційних реєстрів, створюючи методологічне підґрунтя для сталого

розвитку, де цифрові технології та геопросторові вимірювання функціонують як інтегрована система пізнання, верифікації та прогнозування.

Висновки і перспективи

Визначено, що процес інтелектуалізації електронних геодезичних інструментів детермінує становлення нової техніко-методологічної концепції просторових вимірювань, в рамках якої прецизійність і валідність результатів обумовлюються не виключно технічними характеристиками апаратури, а також потенціалом системи до когнітивної трансформації та алгоритмічної автокорекції. Прогрес у сфері сенсорної інтеграції, що передбачає об'єднання супутникових приймачів GNSS, лазерних вимірювальних пристроїв, інерціальних навігаційних одиниць та оптико-електронних трактів, уможливорює автономне узгодження інформаційних потоків у режимі реального часу, що редукує вимірювальні відхилення навіть за несприятливих умов польових робіт.

Аргументовано, що алгоритмічний базис становить центральний компонент інтелектуалізованих геодезичних систем, оскільки він забезпечує інтеграцію сенсорної інформації в уніфіковану цифрову репрезентацію простору та реалізує прогностичне моделювання похибок, автоматичне калібрування і самоідентифікацію вимірювальних пристроїв. Застосування адаптивних обчислювальних методів: калманівської фільтрації, байєсівського оцінювання, рекурентних нейромережових архітектур типу LSTM, забезпечує досягнення міліметрової точності позиціонування, стабілізацію функціонування систем у режимі безперервного спостереження та еліміна-

цію впливу екзогенних чинників.

Обґрунтовано, що впровадження інтелектуалізованих геодезичних інструментів у системи публічного просторового менеджменту забезпечує формування інтегрованого інформаційного контуру, в межах якого геопросторові дані трансформуються в юридично релевантні, верифіковані та етично регульовані одиниці просторового знання. Через підключення вимірювальних комплексів до геоінформаційних платформ та хмарних сервісів реалізується автоматична простежуваність даних, їхня багаторівнева верифікація та синхронізація з державними кадастровими системами.

Список використаної літератури

1. Батракова А. Г., Дорожко Є. В., Ємець В. А. Особливості побудови цифрової моделі рельєфу за результатами геодезичної зйомки місцевості. *Комунальне господарство міст*. 2021. Том 1. Випуск 161. С. 104-108. DOI: 10.33042/2522-1809-2021-1-161-104-108
2. Коваленко Л. О. Геодезичне забезпечення будівництва інженерних споруд. *Комунальне господарство міст. Серія: інформаційні технології та інженерія*. 2022. № 3 (170). С. 223-227. DOI: 10.33042/2522-1809-2022-3-170-223-227
3. Македон В. В., Байлова О. О. Планування і організація впровадження цифрових технологій в діяльність промислових підприємств. *Науковий вісник Херсонського державного університету. Серія «Економічні науки»*. 2023. Випуск 47. С. 16-26. DOI: 10.32999/ksu2307-8030/2023-47-3
4. Македон В. В., Холод О. Г., Ярмоленко Л. І. Модель оцінки конкурентоспроможності високотехнологічних підприємств на засадах формування ключових компетенцій. *Академічний огляд*. 2023. № 2

- (59). С. 75-89. DOI: 10.32342/2074-5354-2023-2-59-5.
5. Рибіна О. І. Інтегрована модель ISLA як відповідь на виклики сучасної земельної політики України. Наукові записки Львівського університету бізнесу та права. *Серія економічна. Серія юридична*. 2025. Випуск 44. С. 416-423. DOI: 10.5281/zenodo.15532670
6. Ступень О. І., Прокопенко Н. І., Шевчук С. М. Цифрова трансформація системи землеустрою: автоматизація управлінських процесів у сфері використання та охорони земельних ресурсів. *Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту*. 2025. № 212. С. 172-184. DOI: 10.18664/1994-7852.212.2025.336296
7. Сухий П. О., Сабадаш В. І., Дарчук К. В. Сучасні електронні геодезичні прилади: практикум. Чернівці: Чернівецький нац. ун-т ім. Ю. Федьковича, 2021. 288 с.
8. Тимченко С. І. Концепція цифровізації дорожньо-інфраструктурних проєктів в Україні: використання геоінформаційних технологій для підвищення ефективності управління. *Управління розвитком складних систем*. 2024. № 60. С. 95-104. <https://doi.org/10.32347/2412-9933.2024.60.95-104>
9. Шевчук С. М., Домашенко Г. Т., Куришко Р. В. Геодезичний моніторинг при розробці комплексних планів просторового розвитку. *Географія та туризм*. 2024. № 31. С. 31-37. <https://doi.org/10.17721/2308-135X.2024.76.31-37>
10. Bajrami Lubishi F., Lubishtani M. Advancing geodesy education: Innovative pedagogical approaches and integration into STEM curricula. *STEM Education*. 2025. Vol. 5. No. 2. P. 229-249. DOI: 10.3934/steme.2025012
11. Kukhar M., Myronenko M., Kobzan S., Masliy L. Analysis of the main aspects of modern tools for solving geodetic problems. *Sworld-Us Conference Proceedings*. 2023. Vol. 1, No. usc16-01. Pp. 37-42. DOI: 10.30888/2709-2267.2023-16-01-043.
12. Makedon V., Myachin V., Alosyna 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. P. 165-179. <https://doi.org/10.18664/1994-7852.212.2025.336296>
13. Sehna M. The visibility challenge of geodesy. *GIM International*. 2025. Vol. 39. No. 4. P. 20-21.
14. Stadnikov V., Likhva N., Miroshnichenko N., Kostyuk V., Dorozhko Y. Exploring Geoinformation Technology Potential for Automating the Development and Maintenance of Digital Topographic Maps. *African Journal of Applied Research*. 2025. Vol. 11. No. 1. pp. 146-156. DOI: 10.26437/ajar.v11i1.
15. Stefanova A. Geodesy 4.0: Geodesy transformation via new technologies. XII International Scientific Conference on Architecture and Civil Engineering (ArCivE 2025), 31 May 2025, Varna, Bulgaria. Vol. 5. P. 311-317.
16. Wójcik M., Dmochowska-Dudek K., Tobiasz-Lis P. Boosting the Potential for GeoDesign: Digitalisation of the System of Spatial Planning as a Trigger for Smart Rural Development. *Energies*. 2021. Vol. 14. No. 13. article 3895. <https://doi.org/10.3390/en14133895>

References

1. Batrakova, A. H., Dorozhko, Ye. V., & Yemets, V. A. (2021). Osoblyvosti pobudovy tsyfrovoi modeli reliefu za rezul'tatamy heodezychnoi ziomky mistsevastsi [Features of constructing a digital terrain model based on the results of geodetic surveying of the area]. *Komunalne hospodarstvo mist*, 1(161), 104–108. <https://doi.org/10.33042/2522-1809-2021-1-161-104-108>

2. Kovalenko, L. O. (2022). Heodezychne zabezpechennia budivnytstva inzhenernykh sporud [Geodetic support for the construction of engineering structures]. *Komunalne hospodarstvo mist. Serii: informatsiini tekhnologii ta inzheneriia*, 3(170), 223–227. <https://doi.org/10.33042/2522-1809-2022-3-170-223-227>
3. Makedon, V. V., & Bailova, O. O. (2023). Planuvannia i orhanizatsiia vprovadzhenia tsyfrovyykh tekhnologii v diialnist promyslovykh pidpriemstv [Planning and organizing the implementation of digital technologies in the activities of industrial enterprises]. *Naukovyi visnyk Khersonskoho derzhavnoho universytetu. Serii "Ekonomichni nauky"*, 47, 16–26. <https://doi.org/10.32999/ksu2307-8030/2023-47-3>
4. Makedon, V. V., Kholod, O. H., & Yarmolenko, L. I. (2023). Model otsinky konkurentospromozhnosti vysokotekhnologichnykh pidpriemstv na zasadakh formuvannia kliuchovykh kompetentsii [Model for assessing the competitiveness of high-tech enterprises based on the formation of key competences]. *Akademichniy ohliad*, 2(59), 75–89. <https://doi.org/10.32342/2074-5354-2023-2-59-5>
5. Rybina, O. I. (2025). Intehrovana model ISLA yak vidpovid na vyklyky suchasnoi zemelnoi polityky Ukrainy [Integrated ISLA model as a response to the challenges of modern land policy of Ukraine]. *Naukovi zapysky Lvivskoho universytetu biznesu ta prava. Serii ekonomichna. Serii yurydychna*, 44, 416–423. <https://doi.org/10.5281/zenodo.15532670>
6. Stupen, O. I., Prokopenko, N. I., & Shevchuk, S. M. (2025). Tsyfrova transformatsiia systemy zemleustroi: avtomatyzatsiia upravlinskykh protsesiv u sferi vykorystannia ta okhorony zemelnykh resursiv [Digital transformation of the land management system: automation of management processes in the field of land use and protection]. *Zbirnyk naukovykh prats Ukrainskoho derzhavnoho universytetu zaliznychnoho transportu*, 212, 172–184. <https://doi.org/10.18664/1994-7852.212.2025.336296>
7. Sukhyi, P. O., Sabadash, V. I., & Darchuk, K. V. (2021). Suchasni elektronni heodezychni prylady: praktykum [Modern electronic geodetic instruments: Practicum]. Chernivtsi: Yurii Fedkovych Chernivtsi National University.
8. Tymchenko, S. I. (2024). Kontseptsiiia tsyfrovizatsii dorozhnio-infrastrukturykh proiektiv v Ukraini: vykorystannia heoinformatsiinykh tekhnologii dlia pidvyshchennia efektyvnosti upravlinnia [The concept of digitalization of road infrastructure projects in Ukraine: using geoinformation technologies to improve management efficiency]. *Upravlinnia rozvytkom skladnykh system*, 60, 95–104. <https://doi.org/10.32347/2412-9933.2024.60.95-104>
9. Shevchuk, S. M., Domashenko, H. T., & Kuryshko, R. V. (2024). Heodezychnyi monitorynh pry rozrobtsi kompleksnykh planiv prostorovoho rozvytku [Geodetic monitoring in the development of integrated spatial development plans]. *Heohrafiia ta turyzm*, 31, 31–37. <https://doi.org/10.17721/2308-135X.2024.76.31-37>
10. Bajrami Lubishi, F., & Lubishtani, M. (2025). Advancing geodesy education: Innovative pedagogical approaches and integration into STEM curricula. *STEM Education*, 5(2), 229–249. <https://doi.org/10.3934/steme.2025012>
11. Kukhar, M., Myronenko, M., Kobzan, S., & Masliy, L. (2023). Analysis of the main aspects of modern tools for solving geodetic problems. *Sworl-US Conference Proceedings*, 1(usc16-01), 37–42. <https://doi.org/10.30888/2709-2267.2023-16-01-043>
12. Makedon, V., Myachin, V., Alosyna, 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://archive.econ-studies.iki.bas.bg/2025/2025_05/2025_05_09.pdf
13. Sehna, M. (2025). The visibility challenge of geodesy. *GIM International*, 39(4), 20–21. <https://www.gim-international.com/content/article/the-visibility-challenge-of-geodesy>
 14. Stadnikov, V., Likhva, N., Miroshnichenko, N., Kostiuk, V., & Dorozhko, Y. (2025). Exploring Geoinformation Technology Potential for Automating the Development and Maintenance of Digital Topographic Maps. *African Journal of Applied Research*, 11(1), 146-156. <https://doi.org/10.26437/ajar.v11i1>
 15. Stefanova, A. (2025). Geodesy 4.0: Geodesy transformation via new technologies. Proceedings of the XII International Scientific Conference on Architecture and Civil Engineering (ArCivE 2025), Varna, Bulgaria, Vol. 5, 311-317.
 16. Wójcik, M., Dmochowska-Dudek, K., & Tobiasz-Lis, P. (2021). Boosting the potential for GeoDesign: Digitalisation of the system of spatial planning as a trigger for smart rural development. *Energies*, 14(13), 3895. <https://doi.org/10.3390/en14133895>

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 4'25: 95-107.
<http://dx.doi.org/10.31548/zemleustriy2025.04.07>

Abstract. The article explores the intellectualization of electronic geodetic instruments within public spatial management systems, emphasizing the transformation from automated procedures to adaptive self-learning technological solutions integrating the principles of digital ethics. Algorithmic analysis using the Extended Kalman Filter (EKF) and Long Short-Term Memory (LSTM) recurrent neural networks was applied for adaptive filtering of information flows, while geospatial statistics and GIS visualization methods were used to verify coordinate consistency. The results show that intellectualization determines the transformation toward cognitive systems with sensor integration (GNSS, IMU, EDM), achieving millimeter accuracy through AI algorithms such as EKF and LSTM for predictive error modeling and self-correction. It has been established that cloud infrastructure and interoperability with GIS platforms (ArcGIS, QGIS) form a unified digital environment with data validation mechanisms, enhancing metrological stability and ethical accountability.

The practical significance lies in improving public management systems, including urban planning, cadastral accounting, and infrastructure monitoring, where intelligent instruments enable real-time data updates and preventive risk management. The study contributes to increasing transparency of state registers through digital measurement passports, reducing errors and legal inconsistencies in spatial governance. Prospects for further research include the development of ethical standards for AI in geodesy and integration with the Internet of Things (IoT) technologies to create global monitoring networks.

Keywords: intellectualization, geodetic instruments, sensor integration, artificial intelligence, geographic information systems, public spatial management.

НАУКИ ПРО ЗЕМЛЮ. ГЕОІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ МОДЕЛЮВАННЯ СТАНУ ГЕОСИСТЕМ

УДК 528.9

<http://dx.doi.org/10.31548/zemleustriy2025.04.08>

АЛГОРИТМ ВИКОРИСТАННЯ ГЕОІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ З МЕТОЮ ГЕОЕКОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ ТЕРИТОРІАЛЬНИХ ГРОМАД

А. О. КОШЕЛЬ,

доктор економічних наук, доцент

E-mail: koshel_a@nubip.edu.ua

професор кафедри геоінформатики і аерокосмічних досліджень Землі

Б. І. ДЕНИСЮК,

*старший викладач кафедри геоінформатики і аерокосмічних
досліджень Землі*

E-mail: denysiuk_b@nubip.edu.ua

А. М. ПОЛТАВЕЦЬ,

доктор економічних наук,

доцент кафедри геоінформатики і аерокосмічних досліджень Землі

E-mail: anatoliy.poltavets@nubip.edu.ua

Національний університет біоресурсів і природокористування України

Анотація. У статті розглядається роль та можливості сучасних геоінформаційних технологій у процесі геоєкологічного моніторингу територіальних громад. Зростання антропогенного навантаження, зміни клімату та активне освоєння земельних ресурсів зумовлюють необхідність упровадження інноваційних інструментів для своєчасного виявлення, аналізу та прогнозування стану довкілля. Геоінформаційні системи забезпечують інтеграцію різномісцевих просторових даних, їх моделювання та оперативну візуалізацію, що дає змогу органам місцевого самоврядування приймати науково обґрунтовані управлінські рішення щодо використання природних ресурсів, планування територій та екологічної безпеки на місцевому рівні.

У межах дослідження проаналізовано основні функціональні можливості геоінформаційних систем, зокрема просторовий аналіз, геостатистику, моделювання ризиків і сценарне прогнозування. Особливу увагу приділено використанню

дистанційного зондування Землі для оцінювання динаміки природних процесів, таких як деградація ґрунтів, зміна рослинного покриву, водний баланс і виявлення забруднень. Наведено приклади застосування комплексних геоінформаційних рішень у громадах для моніторингу стану земель, аналізу екологічної стійкості та контролю за дотриманням природоохоронних норм.

Результати дослідження доводять, що впровадження геоінформаційних технологій у систему геоекологічного моніторингу є ключовою умовою підвищення ефективності управління природними ресурсами на рівні територіальних громад. Використання інтегрованих геопросторових даних дозволяє підвищити точність оцінювання екологічних загроз та формувати обґрунтовані стратегії сталого розвитку. Таким чином, геоінформаційні системи виступають основою для створення сучасних моніторингових систем, що відповідають вимогам адаптивного управління у сфері довкілля.

Ключові слова: геоінформаційні системи, геоекологічний моніторинг, територіальна громада, управління земельними ресурсами, землеустрій, раціональне використання земель.

Актуальність

Сучасний стрімкий розвиток інформаційних технологій загалом та штучного інтелекту зокрема зумовлює структурні зміни в багатьох галузях і напрямках. В цьому контексті, актуальність використання геоінформаційних технологій у геоекологічному моніторингу територіальних громад зумовлена комплексом сучасних екологічних, соціально-економічних та управлінських викликів. В умовах воєнного стану, постійного зростання антропогенного тиску, інтенсифікації господарської діяльності та змін клімату постає необхідність створення системи оперативного, достовірного та науково обґрунтованого контролю за станом довкілля на локальному рівні з використанням сучасних геоінформаційних систем і технологій. Об'єднані територіальні громади як базова ланка управління земельними ресурсами потребують точних і ефективних інструментів для виявлення негативних екологічних процесів,

оцінювання їх наслідків та планування сталого розвитку.

Геоінформаційні системи забезпечують інтеграцію різномірних просторових даних, поєднуючи результати дистанційного зондування Землі, польових досліджень та статистичних спостережень. Це дозволяє отримувати комплексну картину стану земельних, водних та біотичних ресурсів, відстежувати їхню динаміку та прогнозувати можливі загрози. У сучасних умовах, коли екологічні процеси розвиваються швидко й нерідко мають локалізований характер, геоінформаційні технології стають незамінним інструментом для своєчасного прийняття управлінських рішень.

Не менш важливою є здатність геоінформаційних систем підтримувати прозорість і відкритість екологічної інформації, що сприяє підвищенню екологічної відповідальності населення та залученню громадськості до контролю за станом довкілля.

Таким чином, дослідження напрямів використання геоінформаційних технологій у геоєкологічному моніторингу територіальних громад є надзвичайно актуальним, оскільки відповідає сучасним потребам цифрової трансформації, забезпечує основу для ефективного природокористування та формує надійний інструментарій для адаптації громад до екологічних ризиків.

Аналіз останніх наукових досліджень та публікацій

Дурова, Н. В., Кондратюк, Д. Ю. та Першко, Л. О. досліджуючи питання використання геоінформаційних технологій територіальних громад в умовах діджиталізації прийшли до висновку, що впровадження геоінформаційних технологій у територіальних громадах є складним завданням, яке передбачає вирішення безлічі технічних, економічних, соціальних, організаційних та правових проблем, а вирішення цих проблем вимагає комплексного підходу, який включає інвестування в інфраструктуру та навчання, залучення зацікавлених сторін, розробку стандартизованих протоколів та дотримання нормативно-правової бази [1].

Дослідниці Ясінецька І. та Мушенік І. у своїй праці [2] зазначають, «що сьогодні ГІС виступають незамінним засобом дослідження задач, пов'язаних з просторово-розподіленою інформацією, включаючи введення і збереження вихідної інформації, ефективну обробку просторових даних, візуальний і геостатистичний аналіз, а також підготовку різного роду вихідних картографічних й інших документів». А «технології дистанційного зондування земель нада-

ють великий спектр можливостей для сільськогосподарського землекористування, таких як: ідентифікація та облік площ посівів; прогноз урожайності агрокультур; оцінка стану посівів агрокультур; визначення площ посівів; визначення ділянок, що потребують внесення добрив та агрохімікатів; контроль сівозмін та якості проведення агротехнічних заходів; визначення площ вимерзання агрокультур; площ пасовищ; аналіз результатів субсидіювання; оцінка снігового покриву, вологості; визначення уражених ділянок та багато іншого».

Таким чином, більшість вчених торкаються питань пов'язаних з використанням геоінформаційних систем в процесах управління земельними ресурсами громад і сільському господарстві, проте дослідження проблем щодо їх застосування при геоєкологічному моніторингу територіальних громад є досить новим і малодослідженим.

Метою дослідження є наукове обґрунтування процесу використання геоінформаційних технологій при геоєкологічному моніторингу територіальних громад.

Матеріали і методи наукового дослідження

Методологічною основою дослідження було застосування інструментів геоінформаційних систем для інтеграції, зберігання, аналізу та візуалізації просторових даних. Оброблення даних здійснювалося в середовищах сучасних геоінформаційних технологій що забезпечило можливість поєднання традиційних геоінформаційних методів із сучасними алгоритмами обчислювальної географії.

Було використано порівняльний аналіз для формування класифікації геоекологічного моніторингу територіальних громад; системний аналіз для визначення взаємозв'язків між природними, антропогенними та управлінськими чинниками; монографічний метод – для узагальнення теоретичних підходів та оцінки стану наукових розробок; методи структурно-логічного моделювання – при розробленні алгоритму геоекологічного моніторингу.

Застосований інструментарій забезпечив комплексний та багаторівневий підхід до оцінювання екологічного стану територіальних громад, дозволивши виявити просторові закономірності потенційних загроз та визначити напрями оптимізації системи моніторингу.

Результати дослідження та їх обговорення

Геоекологічний моніторинг територіальних громад – це комплексна система спостережень, оцінки та прогнозування стану природного середовища на місцевому рівні для виявлення негативних змін та розробки управлінських рішень. Він включає моніторинг повітря, води, ґрунтів, відходів та природних процесів, використовуючи як традиційні, так і сучасні технології, такі як ГІС та супутникові дані. Метою є забезпечення сталого розвитку, екологічної безпеки та прозорості в управлінні громадою.

Загалом геоекологічний моніторинг можна класифікувати за різними чинниками: за об'єктом спостереження, за методами, за характером впливу, за цільовим призначенням, а також за частотою його проведення (рис. 1).

Провівши аналіз дефініцій моніторингу серед сучасних вчених дослідників, можна відмітити, наукову працю Канівець О.М., яка дає визначення моніторингу використання земель територіальних громад як «використання земель об'єднаних територіальних громад, де основна увага фокусується на формуванні просторового, містобудівного, екологічного й соціально-економічного забезпечення на основі створення кількісної основи інтегральної оцінки, математичного моделювання, застосуванні геоінформаційного інструментарію для виявлення диспропорцій у системі земельних відносин та встановлення перспектив їх розвитку» [3].

ГІС-технології та дистанційне зондування є ефективними інструментами для моніторингу змін землекористування, дозволяючи здійснювати детальний просторовий аналіз та прогнозування. Використання супутникових знімків у поєднанні з ГІС дозволяє оперативне ідентифікування розширення урбанізованих зон, змін рослинного покриву та деградації ґрунтів. Машинне навчання та алгоритми глибокого навчання значно підвищують точність аналізу змін землекористування, забезпечуючи автоматизовану класифікацію територій. ДЗЗ-методи у поєднанні з геопросторовим аналізом є перспективними для оптимізації управління земельними ресурсами в умовах урбанізації та кліматичних змін. Удосконалення методів інтеграції ГІС-даних із даними ДЗЗ для підвищення точності аналізу змін землекористування. Дослідження можливостей використання дронів для підвищення деталізації картографічних даних. Впровадження моделей машинного навчання для прогнозування змін те-



Рис. 1. Класифікація геоecологічного моніторингу територіальних громад

риторій із врахуванням соціально-економічних факторів. Розробка інтерактивних ГІС-платформ для моніторингу землекористування у режимі реального часу [4].

За результатами аналізу наукових праць дослідників та функціональних можливостей геоінформаційних систем, зокрема просторового аналізу, геостатистики, моделювання ризиків, сценарного прогнозування, використання дистанційного зондування Землі для оцінювання динаміки природних процесів було розроблено алгоритм геоecологічного моніторингу територіальних громад (рис. 2)

На рис. 2 в схемі алгоритму блоки розділені на три категорії, де блоки овальної форми показують початок і кінець процесу виконання алгоритму, блоки ромбічної форми показують ключові функціональні етапи, а прямокутні блоки показують дії щодо введення-виведення та візуалізації геопросторових даних щодо геоecологічного моніторингу.

Таким чином, алгоритм геоecологічного моніторингу територіальних громад з широким застосуванням ге-

оінформаційних систем і технологій включає:

Формування цілей та завдань моніторингу

- визначення типу моніторингу (у відповідності до класифікації рис.1);
- встановлення об'єктів спостереження (повітря, ґрунти, лісові та водні ресурси, рослинний покрив, ландшафти, тощо);
- узгодження критеріїв оцінки стану довкілля та індикаторів впливів.

Збір вхідних просторових та атрибутивних даних

- дані дистанційного зондування (супутникові знімки, аерофото, БПЛА);
- топографічні та кадастрові шари;
- дані пунктів спостережень (станції контролю якості повітря, води, ґрунтів);
- соціально-економічні та статистичні дані територіальної громади;
- геофізичні, кліматичні та санітарно-гігієнічні показники.

Попередня підготовка та стандартизація даних

- геоприв'язка та трансформація координат;
- створення єдиної структури геобаз даних;
- очищення даних від похибок, дублювань, тощо;
- нормалізація атрибутивних таблиць.

Інтеграція даних у ГІС-середовище

- завантаження всіх шарів у ГІС (ArcGIS, QGIS, GeoServer);
- побудова базових карт: рельєфу, землекористування, гідромережі, дорожньої інфраструктури, джерел забруднень;
- накладання динамічних і тематичних шарів моніторингу.

Просторовий аналіз та моделювання

- буферний аналіз для визначення зон впливу промислових об'єктів, транспортних коридорів, тощо;
- перехресний аналіз шарів для оцінки екологічного ризику;
- інтерполяція (IDW, Kriging) для створення поверхонь забруднення;
- моделювання потоків води та ерозійної чутливості;
- розрахунок індексів для оцінки стану рослинності та земель;
- виявлення змін на основі часових рядів.

Візуалізація результатів у ГІС

- створення тематичних карт: карти забруднення атмосфери, карти теплових островів, карти стану водних екосистем, карти деградації ґрунтів, карти природних ризиків (зсуви, паводки), карти сукупного екологічного навантаження;
- генерація 3D-моделей та аналітичних профілів;



Рис. 2. Алгоритм геоекологічного моніторингу територіальних громад на основі застосування геоінформаційних технологій

- формування інтерактивних веб-карт для громади (через ArcGIS Online, Leaflet, GeoNode).

Формування звітів і рекомендацій

- узагальнення просторових і статистичних результатів.
- підготовка аналітичних висновків щодо екологічного стану території.
- розробка рекомендацій (попередження забруднень та теплових аномалій, оптимізація землекористування, рекультивація земель, екологічний менеджмент).

Висновки і перспективи

Проведене дослідження підтверджує, що геоінформаційні технології є ключовим інструментом забезпечення ефективного геоекологічного моніторингу територіальних громад. Завдяки інтеграції різнотипних просторових даних, застосуванню інструментів просторового аналізу, геостатистики, дистанційного зондування Землі та методів машинного навчання, ГІС-технології забезпечують високий рівень точності, оперативності та обґрунтованості екологічної оцінки територій.

Отримані результати доводять, що використання ГІС у поєднанні з даними супутникових та аерозйомок створює можливості для комплексного відстеження динаміки природних процесів - деградації ґрунтів, зміни рослинного покриву, урбанізаційного тиску, формування екологічних ризиків. Це, у свою чергу, дає змогу громадам своєчасно реагувати на екологічні загрози, підвищувати ефективність управління земельними та природними ресурсами, забезпечувати прозорість прийняття управлінських рішень та формувати стратегії сталого розвитку.

Дослідження також засвідчує, що актуальною є подальша модернізація геоекологічних моніторингових систем шляхом впровадження автоматизованих класифікаторів, інтегрованих веб-ГІС-платформ, використання БПЛА для підвищення деталізації просторових даних та розроблення прогностичних моделей на основі штучного інтелекту. Розвиток таких інструментів сприятиме формуванню комплексної адаптивної системи управління довкіллям, здатної забезпечити екологічну безпеку та стійкість територіальних громад в умовах сучасних викликів.

Таким чином, геоінформаційні технології не лише підсилюють аналітичні можливості геоекологічного моніторингу, але й створюють надійну основу для сталого природокористування, екологічно відповідного планування та підвищення якості управління територіями на місцевому рівні.

Список використаної літератури

1. Дурова Н. В., Першко Л. О. Геоінформаційні технології територіальних громад в умовах діджиталізації // Академічні візії. 2024. Вип. 32. С. 1–14.
2. Ясінецька І., Мушеник І. Використання геоінформаційних систем і систем дистанційного зондування для потреб земельного кадастру, землеустрою та управління земельними ресурсами // Природничі науки. 2021. Т. 2. С. 55–66.
3. Канівець О. М. Формування моніторингу використання земель об'єднаних територіальних громад : дис. ... д-ра філософії : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2023.
4. Браславська О. ГІС-технології та дистанційне зондування у моніторингу змін землекористування // Містобудування та територіальне планування. 2025.

- Вип. 89. С. 472–487. DOI: <https://doi.org/10.32347/2076-815x.2025.89.472-487>.
5. Bricker, S., Jelenek, J., van der Keur, P., et al. (2024). Geoscience for Cities: Delivering Europe's Sustainable Urban Future. *Sustainability*, 16, 2559. DOI: <https://doi.org/10.3390/su16062559>.
 6. Hölscher, K., Frantzeskaki, N., Collier, M.J., et al. (2023). Strategies for mainstreaming nature-based solutions in urban planning in the European cities. *Urban Sustainability*, 3 (54). DOI: <https://doi.org/10.1038/s42949-023-00134-9>.
 7. Kovalchuk, I., Ivanov, Y., & Pylypovych, O. (2024, October). Geoecological Analysis of the Urban System: Structure, Algorithms, Principles of Monitoring. In International Conference of Young Professionals «Geo-Terrace-2024» (Vol. 2024, No. 1, pp. 1-5). European Association of Geoscientists & Engineers.
 8. Koroso, N., & Zevenbergen J. (2024). Urban land management under rapid urbanization: Exploring the link between urban land policies and urban land use efficiency in Ethiopia. *Cities*, 153, 105269. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cities.2024.105269>
 9. Azimov, O. T., Shevchuk, O. V., & Azimova, K. O. (2020). Geoinformation systems in the investigations of the environment pollution drivers within the catchment areas of landfills: current state and trends. *Geoinformatics (Ukraine)*, 2(74), 69-88.
 10. Tsatsaris, A., Kalogeropoulos, K., Stathopoulos, N., Louka, P., Tsanakas, K., Tselmelis, D. E., ... & Chalkias, C. (2021). Geoinformation technologies in support of environmental hazards monitoring under climate change: An extensive review. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 10(2), 94.
-
- References**
1. Durova, N. V., & Pershko, L. O. (2024). Heoinformatsiini tekhnologii terytorialnykh hromad v umovakh didzhitalizatsii [Geoinformation technologies of territorial communities in the context of digitalization]. *Akademichni vizii*, (32), 1–14.
 2. Yasinecka, I., & Mushenyk, I. (2021). Vykorystannia heoinformatsiinykh system i system dystantsiinoho zonduvannia dlia potreb zemelnoho kadastru, zemleustroiui ta upravlinnia zemelnymy resursamy [Use of geoinformation systems and remote sensing systems for land cadastre, land management, and land resources administration]. *Pryrodnychi nauky*, 2, 55–66.
 3. Kanivets, O. M. (2023). Formuvannia monitorynhu vykorystannia zemel obiednanykh terytorialnykh hromad [Formation of monitoring of land use in united territorial communities] (Doctoral dissertation, KhNUMG im. O. M. Beketova).
 4. Braslavska, O. (2025). HIS-tekhnologii ta dystantsiine zonduvannia u monitorynhu zmin zemlekorystuvannia [GIS technologies and remote sensing in monitoring land use changes]. *Mistobuduvannia ta terytorialne planuvannia*, (89), 472–487. DOI: <https://doi.org/10.32347/2076-815x.2025.89.472-487>
 5. Bricker, S., Jelenek, J., van der Keur, P., et al. (2024). Geoscience for Cities: Delivering Europe's Sustainable Urban Future. *Sustainability*, 16, 2559. DOI: <https://doi.org/10.3390/su16062559>.
 6. Hölscher, K., Frantzeskaki, N., Collier, M.J., et al. (2023). Strategies for mainstreaming nature-based solutions in urban planning in the European cities. *Urban Sustainability*, 3 (54). DOI: <https://doi.org/10.1038/s42949-023-00134-9>.
 7. Kovalchuk, I., Ivanov, Y., & Pylypovych, O. (2024, October). Geoecological Analysis of the Urban System: Structure, Algorithms, Principles of Monitoring. In International Conference of Young Professionals «Geo-Terrace-2024» (Vol. 2024, No. 1, pp. 1-5). European Association of Geoscientists & Engineers.
 8. Koroso, N., & Zevenbergen J. (2024). Urban

- land management under rapid urbanization: Exploring the link between urban land policies and urban land use efficiency in Ethiopia. *Cities*, 153, 105269. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cities.2024.105269>
9. Azimov, O. T., Shevchuk, O. V., & Azimova, K. O. (2020). Geoinformation systems in the investigations of the environment pollution drivers within the catchment areas of landfills: current state and trends. *Geoinformatics (Ukraine)*, 2(74), 69-88.
10. Tsatsaris, A., Kalogeropoulos, K., Stathopoulos, N., Louka, P., Tsanakas, K., Tsesmelis, D. E., ... & Chalkias, C. (2021). Geoinformation technologies in support of environmental hazards monitoring under climate change: An extensive review. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 10(2), 94.

Koshel A. O., Denysiuk B. I., Poltavets A. M.

ALGORITHM FOR THE USE OF GEOINFORMATION TECHNOLOGIES FOR THE PURPOSE OF GEOECOLOGICAL MONITORING OF TERRITORIAL COMMUNITIES LAND MANAGEMENT, CADASTRE AND LAND MONITORING 4'25: 108-116.

<http://dx.doi.org/10.31548/zemleustriy2025.04.08>

Abstract. *The article discusses the role and capabilities of modern geoinformation technologies in the process of geo-ecological monitoring of territorial communities. The growth of anthropogenic pressure, climate change and active development of land resources necessitate the introduction of innovative tools for timely detection, analysis and forecasting of the state of the environment. Geoinformation systems ensure the integration of different types of spatial data, their modelling and rapid visualisation, which enables local authorities to make scientifically sound management decisions on the use of natural resources, spatial planning and environmental safety at the local level.*

The study analyses the main functional capabilities of geographic information systems, in particular spatial analysis, geostatistics, risk modelling and scenario forecasting. Particular attention is paid to the use of remote sensing of the Earth to assess the dynamics of natural processes such as soil degradation, changes in vegetation cover, water balance and pollution detection. Examples are given of the application of integrated geoinformation solutions in communities for monitoring land conditions, analysing environmental sustainability and monitoring compliance with environmental protection standards.

The results of the study prove that the introduction of geoinformation technologies into the geo-ecological monitoring system is a key condition for improving the efficiency of natural resource management at the level of local communities. The use of integrated geospatial data allows for more accurate assessment of environmental threats and the development of sound sustainable development strategies. Thus, geoinformation systems serve as the basis for the creation of modern monitoring systems that meet the requirements of adaptive management in the environmental sphere.

Keywords: *geoinformation systems, geo-ecological monitoring, amalgamated territorial community, land resource management, land use planning, rational land use.*

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ЕЛЕКТРОННИХ ГЕОДЕЗИЧНИХ СИСТЕМАХ ПУБЛІЧНОГО ПРОСТОРОВОГО УПРАВЛІННЯ: ЕВОЛЮЦІЯ ВІД АВТОМАТИЗАЦІЇ ДО ЦИФРОВО-ЕТИЧНИХ СТАНДАРТІВ

Є.В. ДОРОЖКО,

кандидат технічних наук, доцент

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

E-mail: evgeniy.dorozhko@gmail.com

І.О. УДОВЕНКО,

кандидат економічних наук, доцент

E-mail: irinaudovenko8@gmail.com

Уманський національний університет

Анотація. Стаття присвячена інтелектуалізації електронні геодезичні прилади (ЕГП) та розробленню концептуальних основ інтеграції технологій штучного інтелекту (ШІ) в геоінформаційне середовище (ГІС) з метою підвищення ефективності систем просторового управління. У дослідженні представлено розроблену архітектурну модель інтелектуалізованої системи просторового управління, яка включає взаємодію електронних приладів, сенсорних модулів, ГІС-платформ та аналітичних ШІ-сервісів. Запропоновано концепцію інтелектуалізації ЕГП, яка ґрунтується на трьох основних векторах: автономність вимірювального процесу (за допомогою машинного навчання МН для розпізнавання об'єктів, самодіагностики), адаптивність до умов навколишнього середовища (через корекцію впливу навколишнього середовища, зменшення шуму) та інтегративність у ГІС. У роботі описано застосування ШІ-методів, включаючи глибинні нейронні мережі (YOLO, Mask R-CNN, U-Net, PointNet) для автоматичної детекції та класифікації об'єктів на зображеннях і хмарах точок, а також для оцінювання та корекції GNSS-похибок у реальному часі за допомогою нейро-Калманівських фільтрів. Практичні напрями впровадження моделі включають автоматизований моніторинг деформацій інженерних споруд та інтелектуальну обробку даних БПЛА для оновлення топографічних планів. Згідно з висновками, поетапна інтеграція ШІ перетворює ЕГП на інтелектуальні сенсори, здатні самостійно оцінювати якість даних та взаємодіяти з ГІС, що забезпечує надійну основу для «розумних» міст та стійкого територіального розвитку.

Ключові слова: інтелектуалізація, штучний інтелект (ШІ), електронні геодезичні прилади (ЕГП), ГІС-середовище, системи просторового управління, детекція об'єктів, GNSS-корекція.

Постановка проблеми

Сучасні системи просторового управління дедалі більше залежать від точності, швидкості та інтелектуальної обробки геодезичних даних. Розвиток електронних геодезичних приладів – тахеометрів, GNSS-приймачів, дронів і лазерних сканерів – значно підвищив ефективність вимірювальних процесів, проте більшість із них залишаються інструментами, що вимагають людської участі на всіх етапах збору, аналізу та інтерпретації даних. Це обмежує їхню продуктивність і створює ризики помилок, спричинених людським фактором. Зростання обсягів просторової інформації та потреба в її оперативному аналізі спричинили необхідність в інтелектуалізації геодезичних систем. Тобто, впровадження алгоритмів штучного інтелекту (ШІ) для автоматизованого розпізнавання об'єктів, оцінки якості даних, самокорекції вимірювань і прийнятті рішень у реальному часі. Незважаючи на активний розвиток ШІ у суміжних галузях (робототехніка, дистанційне зондування Землі, містобудівне планування), рівень його інтеграції в геодезичні прилади поки залишається фрагментарним і не має єдиної методологічної основи.

Важливою проблемою є відсутність концептуальної моделі впровадження ШІ у геоінформаційне середовище, яке поєднує дані з різних джерел, забезпечує їх семантичну узгодженість та підтримує прийняття рішень у системах просторового управління. Розроблення концептуальних основ інтелектуалізації електронних геодезичних приладів на базі штучного інтелекту, дозволить підвищити точність, автономність та

адаптивність систем просторового управління в сучасному геоінформаційному середовищі.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Проблематика інтеграції штучного інтелекту у сферу геодезії та геоінформаційних систем (ГІС) останніми роками привертає значну увагу науковців у світі. У працях зарубіжних дослідників, зокрема [1;2;3], розглядаються підходи до автоматизації збору та обробки геоданих за допомогою алгоритмів машинного навчання, нейронних мереж і комп'ютерного зору. Такі дослідження демонструють можливість суттєвого підвищення точності позиціонування, оптимізації маршруту вимірювань та автоматичного розпізнавання об'єктів місцевості.

В Україні питання інтелектуалізації геодезичних приладів поки що перебуває на етапі концептуального осмислення. У наукових працях розглянуто питання цифрової трансформації геодезичних процесів [4;5], розвитку автоматизованих систем моніторингу територій [6;7], інтеграції GNSS-даних у ГІС середовища [8]. Проте більшість досліджень фокусуються переважно на технічних або програмних аспектах, тоді як питання розроблення інтелектуальних моделей взаємодії приладів і ГІС залишається недостатньо вивченим. Окремі роботи присвячені використанню штучного інтелекту для класифікації супутникових зображень, прогнозування деформацій земної поверхні [9], створення 3D-моделей місцевості [10], аналізу просторових трендів та геопросторової аналітики на основі ШІ [11;12]. Проте їх резуль-

тати здебільшого мають галузевий або експериментальний характер і не формують узагальненої методології застосування ШІ в геодезичних системах вимірювань.

Мета дослідження – сформулювати концептуальні основи інтелектуалізації електронних геодезичних приладів, запропонувати архітектуру їх інтеграції в ГІС-середовище і надати практичні рекомендації щодо впровадження.

Матеріали і методи наукового дослідження

Методологія дослідження ґрунтується на поєднанні аналітичних, експериментальних та обчислювальних підходів, які разом забезпечують всебічне оцінювання технологічних, алгоритмічних і функціональних засад роботи інтелектуальних електронних геодезичних інструментів (ЕГІ). Основним джерелом емпіричного матеріалу у дослідженні стали набори даних, отримані за допомогою сучасних електронних тахеометрів, GNSS-приймачів, електронних нівелірів, LiDAR-систем і безпілотних літальних апаратів, оснащених оптичними та мультиспектральними сенсорами. Ці набори даних використовувалися для оцінювання точності, стабільності та адаптивності вимірювальних процесів за різних умов довілля та експлуатації.

Для дослідження потенціалу штучного інтелекту у підвищенні надійності вимірювань було застосовано декілька класів моделей машинного навчання. Згорткові нейронні мережі (CNN), а також архітектури U-Net і Mask R-CNN використовувалися для детекції об'єктів і семантичної сегментації просторових зо-

бражень, тоді як рекурентні нейронні мережі (LSTM) та гібридні моделі, що інтегрують фільтрацію Калмана, застосовувалися для оцінювання та компенсації відхилень координат GNSS, спричинених мультипом, іоносферними збуреннями та перешкодами в умовах урбанізованої забудови. Крім того, методи ансамблевого навчання — Random Forest і Gradient Boosting – використовувалися для побудови прогностичних моделей оцінювання похибок з урахуванням метеорологічних та техногенних чинників.

Експериментальна верифікація включала порівняльне тестування традиційних і удосконалених штучним інтелектом обчислювальних процедур у середовищі ГІС. Просторовий аналіз, інтеграція растрових і векторних даних та перевірка топологічної узгодженості виконувалися із використанням QGIS і ArcGIS Pro. Статистичне оцінювання результатів ґрунтувалося на показниках RMSE, MAE та кореляційних коефіцієнтах для підтвердження підвищення точності позиціонування. Методологічна база також включала системне моделювання запропонованої п'ятирівневої архітектури інтеграції інтелектуальних сенсорів у ГІС-процеси, що забезпечило теоретичну обґрунтованість і практичну застосовність отриманих результатів.

Результати дослідження та їх обговорення

Штучний інтелект (ШІ) – це широка та багатогранна галузь, що охоплює різні підходи, технології та методи вирішення проблем. Абревіатура ШІ наразі асоціюється, завдяки стартапам, які фінансово підтримують великі технологічні гравці

(Microsoft, Google, Amazon, Meta, Apple тощо) та інші організації, з інтерактивними моделями великих мов програмування (LLM), такими як: ChatGPT, Gemini, Claude та інші менш відомі моделі. Ці комерційні рішення доступні за підпискою або в обмежених версіях практично для всіх [2].

Штучний інтелект, загалом, – це вивчення та проєктування інтелектуальних агентів, де інтелектуальний агент – це система, яка сприймає своє середовище та вживає дії, що максимізують її шанси на успіх. Багато реальних проблем вимагають від агента роботи з неповною або невизначеною інформацією. Методи, що використовуються для невизначених міркувань, мають ймовірнісний характер, такі як байєсівські мережі, які являють собою загальний інструмент з вирішення великої кількості проблем, наприклад, міркування (з використанням байєсівського алгоритму висновку), навчання (з використанням алгоритму максимізації очікувань), планування (з використанням мереж прийняття рішень) та сприйняття (з використанням динамічних байєсівських мереж). Використання методів штучного інтелекту має багато переваг у порівнянні з традиційними стратегіями розробки та впровадження [13]: швидкий доступ до зібраних знань (наприклад, системи, засновані на знаннях), легкість впровадження прототипів без глибоких експертних знань (наприклад, штучні нейронні мережі) або системи, здатні до навчання (наприклад, генетичні алгоритми).

Методи та техніки штучного інтелекту широко використовуються в геодезії та ГІС. До них можна віднести:

- автоматична детекція та кла-

сифікація об'єктів на зображеннях і хмарах точок;

- оцінювання та корекція точності GNSS-показів з урахуванням локальних умов сигналу за допомогою ІІІ;

- компенсація шумів та фільтрація даних реального часу (фільтри Калмана із вбудованими нейромережами);

- семантична прив'язка результатів вимірювань до онтологічних моделей просторових об'єктів для полегшення інтеграції в ГІС.

Детекція об'єктів (object detection) – це процес виявлення та локалізації об'єктів певного класу на цифровому зображенні. Сучасні підходи базуються на глибинних згорткових нейронних мережах (convolutional neural network (CNN)), які здатні автоматично витягати ознаки без попереднього ручного налаштування для автоматичного ідентифікування цілей (штучних, природних об'єктів) та фільтрації перешкод у реальному часі (табл. 1). Це важливо для лазерного сканування та роботи роботизованих тахеометрів (наприклад, Leica TS20) [14].

Хмара точок – це набір тривимірних координат, що представляє форму поверхні об'єктів, отриману за допомогою лідарного (LiDAR) або фотограмметричного сканування. Оброблення таких даних вимагає спеціалізованих алгоритмів, оскільки інформація подається у вигляді незв'язних 3D-точок без кольору або текстури. Сучасні методи автоматичного аналізу включають:

- PointNet і PointNet++ – перші нейронні мережі, що безпосередньо працюють із неструктурованими 3D-точками;

- PointCNN, KPConv та RandLA-Net – модифіковані архітектури,

Таблиця 1. Методи штучного інтелекту для аналізу геопросторових даних

Категорія завдання	Метод (Архітектура)	Характеристика	Застосування у ГІС
Детекція об'єктів	Faster R-CNN	Двоетапна модель, що поєднує регіональні пропозиції (Region Proposals) з класифікацією та локалізацією об'єктів. Висока точність, але повільніша за одноступінчасті	Автоматичне розпізнавання будівель, доріг, транспортних засобів та зелених насаджень на аерофото- і супутникових знімках; виявлення змін у забудові; аналіз територій в урбаністичних дослідженнях
	YOLO (You Only Look Once)	Одноступінчастий детектор об'єктів, який виконує класифікацію та локалізацію за один прохід мережі. Дозволяє виявляти об'єкти в реальному часі на зображеннях та відео	Швидкий моніторинг руху транспорту, виявлення об'єктів у відеопотоці з дронів, оперативне виявлення катастроф
	Mask R-CNN	Mask R-CNN розширення Faster R-CNN для одночасної детекції та сегментації контурів об'єктів (екземплярна сегментація)	Точне виділення контурів окремих об'єктів (будівель, дерев, транспортних засобів); створення високоточних кадастрових карт
Класифікація та семантична сегментація	Fully Convolutional Networks (FCN)	Архітектура глибокого навчання, яка замінює повністю зв'язані шари на згорткові, що дозволяє отримувати карти класифікації (сегментаційні маски) для зображень будь-якого розміру	Тематичне картографування (лісових масивів, водних джерел, міського планування), аналіз супутникових зображень, моніторинг довкілля, точне землеробство та оцінка землекористування
	U-Net	Архітектура з симетричним кодером-декодером (U-подібна форма), яка використовує з'єднання обходу (skip connections) для передачі високороздільних ознак від кодера до декодера. Це забезпечує високу точність локалізації об'єктів	Високоточна семантична та екземплярна сегментація об'єктів (використовується в медицині та ГІС для точного виділення областей)
	DeepLabv3+	Архітектура, яка застосовує удосконалений підхід із використанням атрибутів просторового пірамідального пулу (Atrous Spatial Pyramid Pooling, ASPP) для захоплення контексту на різних масштабах. Висока продуктивність у семантичній сегментації	Обробка великомасштабних знімків, точна семантична сегментація складних сцен (наприклад, розмежування міських територій та природних ландшафтів)
	SegNet	Архітектура семантичної сегментації типу кодер-декодер, де декодер використовує індекси пулінгу (pooling indices) з відповідних шарів кодера для незгорткового підвищення дискретизації (unpooling). Це зменшує потребу в запам'ятовуванні	Семантична сегментація дорожніх сцен, мобільне робототехнічне картографування, ефективна обробка великих обсягів геопросторових даних

Сформовано авторами на основі [4, 12]

оптимізовані для великих обсягів геопросторових даних;

- Voxel-based моделі, що перетворюють хмару точок на воксельну сітку для обробки звичайними CNN.

Завдяки цим підходам стає можливою: автоматична класифікація об'єктів (будівлі, дороги, дерева, лінії електропередач тощо); виявлення змін у 3D-моделях місцевості; створення цифрових моделей поверхні та рельєфу з високою деталізацією [15].

Глобальні навігаційні супутникові системи (GNSS) – GPS, Galileo, GLONASS, BeiDou – є основним джерелом просторово-часових даних для геодезії, навігації, транспорту та моніторингу довкілля. Точність GNSS-вимірювань значно залежить від локальних умов приймання сигналів: багатопроменевого поширення, затінення антен, атмосферних впливів, радіоперешкод і геометрії розташування супутників. З огляду на складність цих факторів, застосування штучного інтелекту (ШІ) відкриває нові можливості для оцінювання, прогнозування та корекції похибок GNSS-сигналів у реальному часі. ШІ-технології використовують для: виявлення аномалій у даних GNSS у режимі реального часу; моделювання просторово-часових закономірностей похибок; прогнозування впливу локальних факторів на якість сигналу; постпроцесингової та оперативної корекції координат. Методи штучного інтелекту для підвищення точності GNSS: класичні алгоритми машинного навчання – Random Forest, Support Vector Regression (SVR), Gradient Boosting; глибинні нейронні мережі (DNN, LSTM, CNN); гібридні моделі GNSS-INS-AI, характеристики, яких представлені в таблиці 2 [16].

Одним із ключових завдань під час оброблення GNSS-спостережень є компенсація шумів і випадкових похибок, що виникають через нестабільність сигналу, атмосферні впливи та динамічні умови руху приймача. Для цієї мети традиційно застосовується фільтр Калмана (Kalman Filter) – оптимальний рекурсивний алгоритм, який оцінює поточний стан системи (координати, швидкість, прискорення) на основі попередніх вимірювань і статистичних характеристик шумів. Сучасні підходи поєднують фільтри Калмана з нейронними мережами, утворюючи нейро-Калманівські фільтри (Neural Kalman Filters). У таких моделях нейронна мережа (зазвичай LSTM або DNN) навчається прогнозувати або адаптивно оцінювати параметри шуму процесу та вимірювань. Практичні дослідження показують, що інтеграція нейронних мереж у структуру фільтра Калмана дозволяє зменшити середню похибку позиціонування на 30–50 %, а також забезпечує плавність траєкторій при високій частоті оновлення вимірювань (1–10 Гц) [17].

Семантична прив'язка вимірювань передбачає узгодження результатів геодезичних або GNSS-спостережень з онтологічними моделями просторових об'єктів, які описують структуру, властивості та взаємозв'язки елементів території. Такий підхід забезпечує смислову інтерпретацію даних, коли координати та геометрія поєднуються з атрибутами об'єктів (тип, функція, стан, приналежність тощо). Методи ШІ, зокрема машинне навчання, обробка природної мови (NLP) та глибинні нейронні мережі, дозволяють: автоматично визначати семантику об'єктів, з подальшим призначенням їм онтологіч-

Таблиця 2. Методи штучного інтелекту для оцінювання та корекції GNSS-похибок

Тип моделі ШІ	Вхідні дані	Функціональне призначення	Очікуваний ефект / точність	Приклади застосування
Random Forest (RF)	Параметри супутникового сигналу (SNR, кількість супутників, кут піднесення, DOP)	Прогнозування координатних похибок на основі статистичних закономірностей	Зменшення похибки позиціонування на 20–30 % порівняно зі стандартними моделями	Аналіз якості сигналу у міському середовищі
Support Vector Regression (SVR)	Часові ряди координат, рівень сигналу	Моделювання нелінійної залежності між рівнем сигналу та зміщенням координат	Зменшення середньоквадратичної похибки (RMSE) до 1,5–2 м	Постобробка GNSS-треків у транспортних системах
Support Vector Regression (SVR)	Часові ряди координат, рівень сигналу	Моделювання нелінійної залежності між рівнем сигналу та зміщенням координат	Зменшення середньоквадратичної похибки (RMSE) до 1,5–2 м	Постобробка GNSS-треків у транспортних системах
Gradient Boosting / XGBoost	Метеорологічні та геометричні параметри спостережень	Корекція іоносферних і тропосферних впливів	Поліпшення стабільності координат на 25–40 %	Сільсько-господарські GNSS-спостереження
LSTM (Long Short-Term Memory)	Часові ряди сигналів, швидкість, прискорення, доплерівські вимірювання	Прогнозування короткострокових зміщень координат; адаптивна фільтрація шумів	Зменшення похибки в динамічних умовах до 1 м	Моніторинг рухомих об'єктів, автономний транспорт
CNN (Convolutional Neural Network)	Просторові карти GNSS-точності, цифрові моделі місцевості	Виявлення просторових закономірностей похибок, облік рельєфу та забудови	Підвищення точності позиціонування на 30–50 %	Урбанізовані території, міські каньйони
DNN (Deep Neural Network)	Комплексні дані GNSS + INS + метеопараметри	Комбіноване моделювання похибок за різних факторів	Поліпшення узагальненої точності на 40–60 %	Геодезичні вимірювання в складних умовах прийому сигналу
Ensemble Learning (рібридні моделі)	Різноманітні дані з різних приймачів або сенсорів	Об'єднання прогнозів різних моделей для зменшення випадкових похибок	Підвищення стабільності та узгодженості результатів	Системи RTK/PPP реального часу

Сформовано авторами на основі [1, 6, 14]

них категорій; виявляти семантичні зв'язки між об'єктами, створюючи семантичні граfi простору; інтегрувати різноманітні дані (з різних джерел – GNSS-вимірювань, LiDAR, кадастрових баз, супутникових знімків) у ГІС і виконувати їхнє семантичне узгодження в єдиному інформаційному середовищі; підтримувати інтелектуальний аналіз і запити [18].

Інтеграція штучного інтелекту

(ШІ) у геодезичні технології відбувається поступово та охоплює всі етапи життєвого циклу даних – від польових вимірювань до побудови цифрових моделей місцевості. Загалом можна виділити п'ять основних етапів такої інтеграції:

Етап збору даних (Data Acquisition), під час якого ШІ застосовують для оптимізації процесу вимірювань у реальному часі – автоматичного ви-

бору найкращих супутників GNSS, адаптивного налаштування частоти вимірів та контролю якості сигналів. У приладах нового покоління (розумні тахеометри, GNSS-приймачі) ШІ-модулі аналізують стабільність спостережень і можуть автоматично сигналізувати про зниження точності або рекомендувати повторне вимірювання.

Етап попередньої обробки (Preprocessing) передбачає використання алгоритмів машинного навчання для фільтрації шумів, компенсації мультипас-ефектів і видалення помилкових вимірювань. На цьому етапі застосовуються нейро-Калманівські фільтри або рекурентні нейронні мережі (RNN, LSTM), які виконують реальну адаптацію параметрів фільтра залежно від умов приймання сигналу.

Етап аналізу та інтерпретації (Processing & Interpretation), де ШІ виконує автоматичну класифікацію, детекцію об'єктів і сегментацію зображень або хмар точок, що суттєво скорочує час камеральної обробки. Для цього використовуються глибокі нейронні мережі типу U-Net, Mask R-CNN, PointNet++, які розпізнають об'єкти місцевості (будівлі, дороги, рослинність тощо) у тривимірних даних.

Етап інтеграції в ГІС та моделювання (Integration & Modeling), на якому результати вимірювань проходять семантичну прив'язку до онтологічних моделей просторових об'єктів, що забезпечує узгодження з геоінформаційними базами, а ШІ-модулі відповідають за узгодження координат, атрибутів і семантики, автоматизуючи введення нових об'єктів у ГІС.

Етап прогнозування та прийняття

рішень (Prediction Decision Support) як завершальний етап використовує ШІ для аналізу тенденцій змін (деформацій, осідань, рухів ґрунту) та прогнозування їх подальшого розвитку. Інтелектуальні системи можуть у режимі реального часу пропонувати оптимальні сценарії дій, наприклад, повторні вимірювання або корекцію параметрів геодезичної мережі.

Відповідно концепція інтелектуалізації ґрунтується на трьох основних векторах – автономність вимірювального процесу, адаптивність до умов навколишнього середовища та інтегративність у геоінформаційне середовище (ГІС). Автономність вимірювального процесу досягається за допомогою вбудованих алгоритмів машинного навчання (МН) для розпізнавання та класифікації об'єктів (лазерне сканування), автоматичного планування траєкторії або позиціонування (самостійний вибір точок стояння, послідовність знімання, коригування траєкторії польоту БПЛА), самодіагностики та калібрування (аналізу внутрішніх параметрів приладу, виявлення дрейф сенсорів, температурні деформації або виконання автоматичного коригування калібрувальних констант). Адаптивність здатність ЕГП динамічно змінювати параметри вимірювання залежно від зовнішніх умов, досягається через корекцію атмосферних впливів та адаптивного зменшення шуму. Інтегративність дозволяє інтелектуальним ЕГП стати активними вузлами в системі просторового управління (СПУ), а не просто збирачами даних як «розумний» збір даних (отримання інформації з центральної ГІС-бази для оптимізації польових робіт) та миттєва обробка та аналіз, завдяки вбудованому ШІ-модулі ви-

конувати Edge Computing – первинно обробляти та інтерпретувати дані.

Архітектурна модель інтеграції інтелектуальних електронних приладів в ГІС-середовище передбачає узагальнене представлення структури та взаємозв'язків між складовими інтелектуалізованої геодезичної системи у контексті геоінформаційного середовища. Метою, якої є визначення логічної взаємодії між електронними геодезичними приладами, системами збору та оброблення даних, алгоритмами штучного інтелекту й підсистемами управління просторовими процесами. У структурі концептуальної архітектури виділено п'ять основних рівнів: збору первинних геоданих; передавання та інтеграції даних; інтелектуальної обробки; геоінформаційного аналізу та візуалізації; прийняття управлінських рішень (рис. 1).

Практичні напрями, впровадження запропонованої архітектурної моделі інтеграції в реальних умовах, демонструють, як поєднання геодезичних технологій, штучного інтелекту та геоінформаційного середовища забезпечуючи підвищення ефективності збору, оброблення й аналітики просторових даних. Одним із перспективних напрямів є автоматизований моніторинг деформацій інженерних споруд, спрямований на раннє виявлення небезпечних змін у геометрії об'єктів, таких як мости, дамби чи будівлі. У цьому випадку електронні тахеометри та GNSS-приймачі безперервно фіксують координати контрольних точок, передаючи інформацію до геоінформаційної системи, де алгоритмами штучного інтелекту здійснюють аналіз часових рядів і визначають потенційно небезпечні тенденції. Отримані результати дозволяють забезпечити оперативне

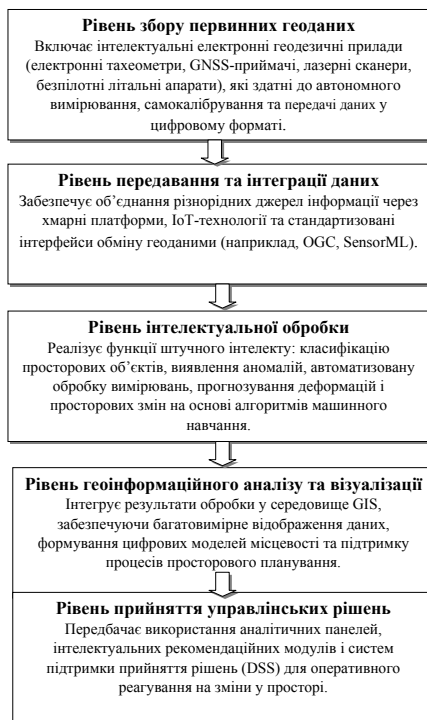


Рис. 1. Архітектурна модель інтеграції інтелектуальних електронних приладів в ГІС-середовище

Розроблено авторами

реагування на деформаційні процеси та запобігти аварійним ситуаціям [6].

Окреме значення має моніторинг змін у землекористуванні викликаний геодинамічними процесами та негативною діяльністю людини. У цьому випадку мережа геодезичних сенсорів і GNSS-станцій забезпечує постійний контроль мікророзміщень земної поверхні, а алгоритми машинного навчання прогнозують ризики на основі аналізу історичних даних, погодних умов і геологічних характеристик [1,6].

Інтеграція даних з геодезичних приладів, супутникових знімків і

державних кадастрових баз з алгоритми штучного інтелекту забезпечує автоматичне виявлення змін у землекористуванні, сприяючи підвищенню прозорості управління земельними ресурсами та своєчасному оновленню кадастрової інформації. Все це демонструє універсальність і практичне значення інтелектуальної архітектурної моделі, яка забезпечує гнучку інтеграцію геодезичних приладів, систем збору даних та аналітичних технологій штучного інтелекту в єдиному геоінформаційному просторі, сприяючи підвищенню точності, оперативності й ефективності процесів просторового управління [6;18].

Висновки

Впровадження ІІІ в електронні геодезичні прилади є новим етапом еволюції геоінформаційного середовища. Інтелектуалізація електронних геодезичних приладів відкриває значний потенціал для підвищення оперативності, точності й автоматизації просторового управління. Концептуальні основи, що охоплюють автономність, адаптивність та інтегративність, забезпечують перетворення ЕГП зі звичайних вимірювальних інструментів на інтелектуальні сенсори, які активно беруть участь у процесах просторового управління. Комбінація локальної обробки та хмарних ІІІ-сервісів дозволяє отримувати адаптивні рішення, що враховують місцеві умови збору даних. При цьому забезпечення якості даних, інтероперабельність та безпека є головним викликом сьогодення. Рекомендований підхід передбачає поетапне, модульне впровадження з акцентом на пілотні випробування,

стандартизацію форматів і застосування MLOps-практик. Це призведе до суттєвого підвищення ефективності, точності та оперативності геодезичних робіт, забезпечуючи надійну основу для «розумних» міст та стійкого територіального розвитку.

Майбутні дослідження повинні зосередитися на оптимізації Edge AI для вбудовування в геодезичні прилади, створенні уніфікованих навчальних датасетів для підвищення надійності моделей ІІІ у моніторингу, управлінні ризиками та прогнозуванні деформацій.

Список використаної літератури

1. Bill R., Blankenbach J., Breunig M., Haunert JH., Heipke C. Geospatial Information Research: State of the Art, Case Studies and Future Perspectives. *J Photogramm Remote Sens Geoinform Sci*. 2022. № 90(4). P. 349-389. doi: 10.1007/s41064-022-00217-9.
2. Rudewicz Ja. Theoretical Insights into Artificial Intelligence Applications in Human Geography and Spatial Management (GeoAI). *European Research Studies Journal*. 2024. Volume XXVII, Issue 4, P. 973-984.
3. Tuia D., Roscher R., Jacobs N. Towards a Collective Agenda on AI for Earth Science Data Analysis.: *IEEE Geoscience and Remote Sensing*. 2021. Volume: 9. Issue: 2. P. 88 – 104. DOI: 10.1109/MGRS.2020.3043504
4. Артемов В., Мовчан Т., Бахчеван Е., Данько Т. Принципи цифрової трансформації і впровадження її в геодезію та землеустрій. *Аграрний вісник Причорномор'я*. 2020. Issue 96. С. 129-138.
5. Максименко М. А., Бондар А. В. Використання ГІС у інженерно-геодезичних вишукуваннях при проектуванні доріг. *Сучасні технології, матеріали і*

- конструкції в будівництві. 2025. Вип. 38(1). С. 129–135. DOI: 10.31649/2311-1429-2025-1-129-135.
6. Ступень О. І., Прокопенко Н. І., Шевчук С. М. Цифрова трансформація системи землеустрою: автоматизація управлінських процесів у сфері використання та охорони земельних ресурсів. *Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту*. 2025. Вип. 212. С. 172–184. DOI: <https://doi.org/10.18664/1994-7852.212.2025.336296>
7. Браславська О.В. ГІС-технології та дистанційне зондування у моніторингу змін землекористування. *Містобудування та територіальне планування*. 2025. № 89. С.472–487. DOI: 10.32347/2076-815X.2025.89.472-487
8. Боровий В. О., Браславська О. В., Рожі Т. А. Інтеграція аналогового та цифрового знімання в системах землеустрою: нові можливості для геодезичних досліджень. *Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту*. 2025. № 212. С. 195–207. DOI: <https://doi.org/10.18664/1994-7852.212.2025.336377>
9. Лазоренко Н. Ю. Дослідження застосування штучного інтелекту (GEOAI) для завдань топографічного картографування. *Просторовий розвиток*. 2024. № 8. С. 430–443. DOI: 10.32347/2786-7269.2024.8.430-443
10. Македон В. В., Байлова О. О. Планування і організація впровадження цифрових технологій в діяльність промислових підприємств. *Науковий вісник Херсонського державного університету. Серія «Економічні науки»*. 2023. Випуск 47. С. 16–26. DOI: 10.32999/ksu2307-8030/2023-47-3
11. Tuia D., Roscher R, Wegner Ja. Dirk Toward a Collective Agenda on AI for Earth Science Data Analysis. *IEEE Geoscience and Remote Sensing*. 2021. №10
12. Hochmair HH, Juhász L, Li H. Advancing AI-Driven Geospatial Analysis and Data Generation: Methods, Applications and Future Directions. *ISPRS International Journal of Geo-Information*. 2025. № 14(2):56. <https://doi.org/10.3390/ijgi14020056>
13. Reiterer A., Egly U. Application of artificial intelligence in Geodesy – A review of theoretical foundations and practical examples. *Journal of Applied Geodesy*. 2010. № 4. P. 201–217. DOI 10.1515/JAG.2010.020
14. Марчук Дмитро Аналіз сучасних алгоритмів виявлення і розпізнавання об'єктів з відеопотоку для систем управління паркуванням в реальному часі. *Вісник Хмельницького національного університету*. 2023. № 3 (321). С. 17–23.
15. Bello S. A., Yu S., Wang C., Adam J. M., Li J. Review: Deep Learning on 3D Point Clouds. *Remote Sens*. 2020. №12. P. 1729. <https://doi.org/10.3390/rs12111729>
16. Elango, A.; Landry, R.J. XAI GNSS—A Comprehensive Study on Signal Quality Assessment of GNSS Disruptions Using Explainable AI Technique. *Sensors* 2024. № 24. P. 8039. <https://doi.org/10.3390/s24248039>
17. Aljamal M. A., Abdelghaffar H. M., Rakha H.A. Developing a Neural-Kalman Filtering Approach for Estimating Traffic Stream Density Using Probe Vehicle Data. *Sensors*. 2019. №19. P. 4325. <https://doi.org/10.3390/s19194325>
18. Shi J., Pan Z., Jiang L., Zhai X. An ontology-based methodology to establish city information model of digital twin city by merging BIM, GIS and IoT, *Advanced Engineering Informatics*, 2023. Volume 57. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2023.102114>
-

References

1. Bill, R., Blankenbach, J., Breunig, M., Haunert, J. H., & Heipke, C. (2022). Geospatial information research: State of the art, case studies and future perspectives.

- J. Photogramm. Remote Sens. Geoinform. Sci., 90(4), 349–389. <https://doi.org/10.1007/s41064-022-00217-9>
2. Rudewicz, J. (2024). Theoretical insights into artificial intelligence applications in human geography and spatial management (GeoAI). *European Research Studies Journal*, 27(4), 973–984.
 3. Tuia, D., Roscher, R., & Jacobs, N. (2021). Towards a collective agenda on AI for Earth science data analysis. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Magazine*, 9(2), 88–104. <https://doi.org/10.1109/MGRS.2020.3043504>
 4. Artemov, V., Movchan, T., Bakhchevan, E., & Danko, T. (2020). Pryntsypy tsyfrovoy transformatsii i vprovadzhenia yii v heodezii ta zemleustrii [Principles of digital transformation and its implementation in geodesy and land management]. *Ahrarnyi visnyk Prychornomoria*, 96, 129–138.
 5. Maksymenko, M. A., & Bondar, A. V. (2025). Vykorystannia HIS u inzhenerno-heodezychnykh vyshukuvanniakh pry proektuvanni dorih [Use of GIS in engineering and geodetic surveys for road design]. *Suchasni tekhnologii, materialy i konstruksii v budivnytstvi*, 38(1), 129–135. <https://doi.org/10.31649/2311-1429-2025-1-129-135>.
 6. Stupen, O. I., Prokopenko, N. I., & Shevchuk, S. M. (2025). Tsyfrova transformatsiia systemy zemleustroi: avtomatyzatsiia upravlinskykh protsesiv u sferi vykorystannia ta okhorony zemelnykh resursiv [Digital transformation of the land management system: automation of management processes in the field of land use and protection]. *Zbirnyk naukovykh prats Ukrainskoho derzhavnoho universytetu zaliznychnoho transportu*, 212, 172–184. <https://doi.org/10.18664/1994-7852.212.2025.336296>
 7. Braslavskaya, O. V. (2025). HIS-tekhnologii ta dystantsiine zonduvannya u monitorynhu zmin zemlekorystuvannya [GIS technologies and remote sensing in monitoring land use changes]. *Mistobuduvannya ta terytorialne planuvannya*, 89, 472–487. <https://doi.org/10.32347/2076-815X.2025.89.472-487>
 8. Borovyi, V. O., Braslavskaya, O. V., & Rozhi, T. A. (2025). Intehratsiia analogovoho ta tsyfrovoho znimannya v systemakh zemleustroi: novi mozhlyvosti dlia heodezychnykh doslidzhen [Integration of analog and digital imaging in land management systems: new opportunities for geodetic research]. *Zbirnyk naukovykh prats Ukrainskoho derzhavnoho universytetu zaliznychnoho*, 212, 195–207. <https://doi.org/10.18664/1994-7852.212.2025.336377>
 9. Lazorenko, N. Yu. (2024). Doslidzhenia zastosuvannya shtuchnoho intelektu (GeoAI) dlia zavdan topohrafichnoho kartohrafuvannya [Study of artificial intelligence (GeoAI) application for topographic mapping tasks]. *Prostorovy rozvytok*, 8, 430–443. <https://doi.org/10.32347/2786-7269.2024.8.430-443>
 10. Makedon, V. V., & Bailova, O. O. (2023). Planuvannya i orhanizatsiia vprovadzhenia tsyfrovyykh tekhnolohii v diialnist promyslovykh pidpriemstv [Planning and organizing the implementation of digital technologies in the activities of industrial enterprises]. *Naukovyi visnyk Khersonskoho derzhavnoho universytetu. Seriya "Ekonomichni nauky"*, 47, 16–26. <https://doi.org/10.32999/ksu2307-8030/2023-47-3>
 11. Tuia, D., Roscher, R., & Wegner, J. D. (2021). Toward a collective agenda on AI for Earth science data analysis. *IEEE Geoscience and Remote Sensing*, 10.
 12. Hochmair, H. H., Juhász, L., & Li, H. (2025). Advancing AI-driven geospatial analysis and data generation: Methods, applications and future directions. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 14(2), 56. <https://doi.org/10.3390/ijgi14020056>
 13. Reiterer, A., & Egly, U. (2010). Application of artificial intelligence in geodesy: A review of theoretical foundations and prac-

- tical examples. *Journal of Applied Geodesy*, 4, 201–217. <https://doi.org/10.1515/JAG.2010.020>
14. Marchuk, D. (2023). Analiz suchasnykh alhorytmiv vyivlennia i rozpiznavannia ob'ektiv z videopotoku dlia system upravlinnia parkuvanniam v realnomu chasi [Analysis of modern algorithms for object detection and recognition from video streams for real-time parking management systems]. *Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu*, 3(321), 17–23.
15. Bello, S. A., Yu, S., Wang, C., Adam, J. M., & Li, J. (2020). Review: Deep learning on 3D point clouds. *Remote Sensing*, 12, 1729. <https://doi.org/10.3390/rs12111729>
16. Elango, A., & Landry, R. J. (2024). XAI GNSS—A comprehensive study on signal quality assessment of GNSS disruptions using explainable AI technique. *Sensors*, 24, 8039. <https://doi.org/10.3390/s24248039>
17. Aljamal, M. A., Abdelghaffar, H. M., & Rakha, H. A. (2019). Developing a neural–Kalman filtering approach for estimating traffic stream density using probe vehicle data. *Sensors*, 19, 4325. <https://doi.org/10.3390/s19194325>
18. Shi, J., Pan, Z., Jiang, L., & Zhai, X. (2023). An ontology-based methodology to establish city information model of digital twin city by merging BIM, GIS and IoT. *Advanced Engineering Informatics*, 57. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2023.102114>
-

Dorozhko Ye., Udovenko I.

INTELLIGENT TECHNOLOGIES IN ELECTRONIC GEODETIC SYSTEMS FOR PUBLIC SPATIAL MANAGEMENT: EVOLUTION FROM AUTOMATION TO DIGITAL ETHICAL STANDARDS

LAND MANAGEMENT, CADASTRE AND LAND MONITORING 4'25: 117-129.

<http://dx.doi.org/10.31548/zemleustriy2025.02.09>

Abstract. The article is devoted to the intellectualization of electronic geodetic instruments (EGI) and the development of conceptual foundations for integrating artificial intelligence (AI) technologies into the geoinformation environment (GIS) to enhance the efficiency of spatial management systems. The study presents a developed architectural model of an intelligent spatial management system, which includes the interaction of electronic instruments, sensor modules, GIS platforms, and analytical AI services. The proposed concept of EGI intellectualization is based on three main vectors: autonomy of the measurement process (through machine learning, ML, for object recognition and self-diagnostics), adaptability to environmental conditions (via environmental impact correction and noise reduction), and integrativity with GIS. The research describes the use of AI methods, including deep neural networks (YOLO, Mask R-CNN, U-Net, Point-Net) for automatic detection and classification of objects in images and point clouds, as well as for real-time evaluation and correction of GNSS errors using neuro-Kalman filters. The practical directions of model implementation include automated monitoring of engineering structure deformations and intelligent UAV data processing for updating topographic maps. According to the findings, the phased integration of AI transforms EGI into intelligent sensors capable of autonomously assessing data quality and interacting with GIS, thereby providing a reliable foundation for smart cities and sustainable territorial development.

Keywords: intellectualization, artificial intelligence (AI), electronic geodetic instruments (EGI), GIS environment, spatial management systems, object detection, GNSS correction

МОБІЛЬНИЙ LiDAR, ГЕОІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА КРАУДСОРСИНГ У ФІКСАЦІЇ Й ЗБЕРЕЖЕННІ ОБ'ЄКТІВ ІСТОРИКО-КУЛЬТУРНОЇ СПАДЩИНИ ТЕРИТОРІАЛЬНИХ ГРОМАД

А. О. КОШЕЛЬ,

доктор економічних наук, доцент

E-mail: koshel_a@nubip.edu.ua

доцент кафедри геоінформатики і аерокосмічних досліджень Землі

І. Г. КОЛГАНОВА,

кандидат економічних наук, доцент

старший викладач кафедри землевпорядного проектування

E-mail: kolganova_i@nubip.edu.ua

А. М. ПОЛТАВЕЦЬ,

доктор економічних наук,

доцент кафедри геоінформатики і аерокосмічних досліджень Землі

E-mail: anatoliy.poltavets@nubip.edu.ua

В. О. ЮХИМЮК,

магістр 2 року навчання,

магістр кафедри геоінформатики і аерокосмічних досліджень Землі

E-mail: vladislavuhimuk@gmail.com

Національний університет біоресурсів і природокористування України

Анотація. У статті обґрунтовано інтегроване використання LiDAR-технологій, геоінформаційних систем (ГІС) та краудсорсингових підходів для виявлення, фіксації й моніторингу об'єктів історико-культурної спадщини в межах територіальних громад. Наголошено, що в умовах воєнних дій, урбанізаційного тиску та територіальних трансформацій культурна спадщина розглядається як важливий ресурс сталого розвитку згідно з підходами ЮНЕСКО та Політики сталого розвитку Всесвітньої спадщини (2015 р.).

Показано, що сучасні LiDAR-системи, включно з вбудованими у смартфони сенсорами, забезпечують отримання щільних хмар точок і тривимірних моделей об'єктів з точністю, достатньою для вирішення значної частини завдань документування та оперативного моніторингу, хоча й поступаються високоточним наземним й аеролазерним сканерам. Особлива увага приділена гіпотезі щодо можливості створення 3D-моделей об'єктів культурної спадщини за допомогою поширених моделей смартфонів із вбудованим LiDAR-сенсором та оцінці точності вимірювань таких моделей.

Для апробації підходу виконано польове сканування гідрологічної пам'ятки природи місцевого значення «Природне джерело» в межах Шпанівської територіальної громади Рівненської області за допомогою смартфона з LiDAR-модулем. Оброблення хмар точок у програмному забезпеченні Polycam, AutoCAD, PIX4D, 3ds Max і Blender дало змогу побудувати 3D-модель споруди й оцінити відносну похибку вимірювання лінійних розмірів. Для еталонної ділянки довжиною 210 см відносна похибка вимірювання становила 2,04 %, що узгоджується з результатами міжнародних досліджень точності мобільних LiDAR-сенсорів, які демонструють міліметрово-сантиметрову точність для малих об'єктів та сантиметрово-дециметрові похибки у складному середовищі.

Проаналізовано технічні обмеження мобільного LiDAR (обмежена дальність сканування, зниження щільності та точності з відстанню, чутливість до властивостей поверхні, вплив траєкторії сканування оператора, необхідність контрольних вимірювань) та показано перспективи їхнього застосування для масового краудсорсингового збору даних про об'єкти спадщини. На основі аналізу досвіду геокраудсорсингу обґрунтовано, що поєднання поширеності смартфонів, мобільних LiDAR-сенсорів і веб-ГІС створює передумови для формування розподілених інформаційних систем обліку, моніторингу та попереднього оцінювання стану пам'яток на рівні територіальних громад за умови впровадження процедур стандартизації й контролю якості даних.

Ключові слова: геоінформаційні технології, Lidar, об'єднана територіальна громада, історико-культурна спадщина, сталий розвиток.

Актуальність

Культурна спадщина розглядається як система матеріальних, нематеріальних і природних елементів, які пов'язують минуле із сучасністю та формують ідентичність спільнот. У сучасних міжнародних підходах спадщина прямо інтегрується у політики сталого розвитку, що закріплено, зокрема, в політиці інтеграції перспективи сталого розвитку в процеси Конвенції про всесвітню спадщину (2015 р.) та у глобальній доповіді ЮНЕСКО «Culture: Urban Future».

Для територіальних громад України, що зазнають наслідків воєнних дій, інтенсивної урбанізації та трансформацій землекористування, завдання оперативного виявлення, фіксації та моніторингу об'єктів історико-культурної спадщини набу-

ває критичного значення. Традиційні методи польових обстежень та класична геодезична зйомка часто є трудомісткими, потребують значних фінансових ресурсів і не забезпечують достатньої частоти оновлення даних.

Розвиток геоінформаційних технологій, дистанційного зондування та 3D-документування створив якісно нові можливості для моделювання й аналізу об'єктів спадщини. LiDAR-технології (наземне, мобільне, аеролазерне сканування) дозволяють отримувати високодетальні цифрові моделі рельєфу та об'єктів, виявляти приховані археологічні структури й фіксувати деформації з високою метричною точністю.

Упродовж тривалого часу застосування LiDAR для задач культурної спадщини було обмежене високою вартістю та складністю обладнання.

Однак поява твердотільних (solid-state) LiDAR-сенсорів у масових мобільних пристроях (планшетах і смартфонах) суттєво знизила поріг входу до технології. Дослідження показують, що вбудовані в смартфони LiDAR-сенсори здатні забезпечити міліметрово-сантиметрову точність у лабораторних та контрольованих умовах та сантиметрово-дециметрові похибки в складних природних сценах.

Паралельно розвиваються краудсорсингові та громадянсько-наукові підходи (citizen science), що базуються на добровільному зборі просторових даних користувачами за допомогою мобільних пристроїв. Для культурної спадщини вже продемонстровано ефективність геокраудсорсингу для збору фотографій і метаданих щодо історичних об'єктів із використанням веб-карт та добровільної географічної інформації (VGI). Це створює передумови для масового залучення громадян до фіксації стану пам'яток із використанням смартфонів як сенсорних платформ.

У такому контексті особливого значення набуває перевірка гіпотези щодо можливості використання поширених моделей смартфонів із вбудованим LiDAR-сенсором для створення хмар точок та 3D-моделей об'єктів культурної спадщини з точністю, достатньою для задач первинної інвентаризації та моніторингу на рівні територіальних громад.

Аналіз останніх наукових досліджень та публікацій

Аналізуючи останні наукові дослідження проблематики створення цифрових моделей об'єктів історико-культурної спадщини, слід відмітити Четверікова, який прийшов до

висновку, що систематизація завдань та методів просторової ідентифікації й моніторингу території об'єктів історико-культурної спадщини з використанням геоінформаційних технологій дозволяє створювати концептуальну модель, яка включає етапи збору, аналізу та інтерпретації даних [1]. В свою чергу Бірьова О. у своїй науковій праці зазначає, що «сьогодні у цифровому просторі для музеїв одним із популярних напрямків роботи це створення віртуальних музеїв. Створення 3-D музею можливе за допомогою використання фотограмметрії. Дана технологія також актуальна при створенні електронних музейних каталогів при оцифровці об'ємних експонатів (посуду, скульптури, зброї, тощо). Одним із видів сучасної технології в музеї є доповнена реальність, яка не змінює а доповнює експозицію. Для передачі інформації достатньо лише мати гаджет та відповідний додаток або маркер» [2].

Особливо важливе ГІС-картографування історико-культурної спадщини для створення бази даних про пам'ятки природи і культури з метою організації їх обліку та вживання заходів для збереження. ГІС дає змогу картографувати об'єкти навколишнього середовища, а потім аналізувати їх за величезною кількістю параметрів, візуалізувати і на основі цих даних прогнозувати найрізноманітніші події і явища [3].

Проте проблеми, які безпосередньо пов'язані з інтегрованим використанням Lidar та геоінформаційних технологій для ідентифікації та збереження об'єктів історико-культурної спадщини в межах територіальних громад потребують додаткового дослідження.

Метою дослідження є інтегроване використання Lidar та геоінформаційних технологій для ідентифікації та збереження об'єктів історико-культурної спадщини в межах територіальних громад.

Матеріали і методи наукового дослідження

Матеріали дослідження включають просторові дані, необхідні для комплексного аналізу стану об'єктів історико-культурної спадщини в межах територіальної громади. Основну інформаційну базу становлять LiDAR-дані, отримані з матеріалів мобільного лазерного сканування.

Сканування проводилось мобільним телефоном iPhone 13 Pro, датчик глибини (Sony IMX590 TOF 3D LiDAR scanner). Він випромінює серію лазерних імпульсів (інфрачервоне світло) і вимірює час, за який світло повертається до приймача. Здатний захоплювати об'єкти на відстані до 5 метрів. Контроль якості вимірювань проводиться вимірюванням еталонного значення і перевірка такого самого значення в програмному забезпеченні. Фільтрація хмари точок проводилась автоматично програмним засобом.

Методологічна основа дослідження базується на інтегрованому використанні геоінформаційних технологій та інструментів обробки LiDAR-даних. Первинна обробка хмар точок здійснювалась шляхом класифікації, фільтрації шумів, виділення поверхонь землі та надземних об'єктів.

Для ідентифікації об'єктів історико-культурної спадщини застосовано методи автоматичного та напівавтоматичного виявлення структурних аномалій, використовуючи морфоло-

гічні фільтри, локальні топографічні індикатори та інструменти розширеного 3D-аналізу.

Загалом застосований комплекс методів забезпечив можливість визначення просторових особливостей культурних об'єктів та обґрунтування управлінських рішень щодо їх збереження на рівні територіальних громад.

Результати дослідження та їх обговорення

Об'єкти історико-культурної спадщини у всьому світі є особливими, і у разі пошкодження або знищення, вони є непоправними. Вони складаються з архітектурних споруд та інших конструкцій, які є основним свідченням історичної діяльності людини і, як такі, повинні бути суттєво захищені [4]. Збереження та відновлення історичних будівель вимагає особливого підходу з метою безпеки їх унікальних характеристик. Отже, кожна така будівля повинна бути ретельно досліджена з метою виявлення цих унікальних характеристик: тип конструкції, методи будівництва, реконструкція та реставрація з плином часу, використані матеріали та їх джерело, типи використання тощо.

Для збереження зібраних неоднорідних наборів даних, таких як мультиспектральні зображення, геофізичні дані або дані Lidar, часто використовується гібридний підхід, що складається з різних носіїв, наприклад, по одному для кожного типу даних. Однак необхідно вирішити кілька постійних проблем: поєднання абсолютно різних типів даних, величезний обсяг даних, що генерується більшістю з вищезазначених технологій, та 3D-цифрова документація архітектурної спадщини [5].

Використання процесу моделювання будівельної інформації (BIM) може значно сприяти управлінню та плануванню робіт з консервації та реставрації історичних будівель [6], оскільки дозволяє геопросторову інтеграцію наборів даних, отриманих за допомогою різних технік і що охоплюють різні галузі знань, такі як архітектура, археологія, інженерія, матеріали та дистанційне зондування [7].

У вересні 2015 року Організація Об'єднаних Націй (ООН) прийняла 17 Цілей сталого розвитку для трансформації нашого світу до 2030 року (Організація Об'єднаних Націй, 2015). До цього, у 2013 році, Організація Об'єднаних Націй з питань освіти, науки і культури (ЮНЕСКО) вже заявила, що культура повинна бути в центрі політики сталого розвитку, а культурна спадщина була включена до Порядку денного сталого розвитку. Згодом, у листопаді 2015 року, 20-та Генеральна асамблея держав-учасниць Конвенції про всесвітню спадщину прийняла Політику щодо інтеграції перспективи сталого розвитку в процеси Конвенції про всесвітню спадщину (ЮНЕСКО, 2015). Після цього ЮНЕСКО започаткувала програму «Культура для сталого міського розвитку» (ЮНЕСКО, 2016), щоб підкреслити роль культури в сталому розвитку та проілюструвати зв'язок між виконанням конвенцій ЮНЕСКО про культуру та досягненням цілей сталого розвитку. Тому культурна спадщина зараз вважається важливим чинником сталого розвитку і прямо та опосередковано відображається в цілях сталого розвитку.

Геоінформаційні технології, включаючи фотограмметрію, лазерне

сканування, дистанційне зондування, веб-картографування та науку про геопросторові дані, вже давно відіграють важливу роль у документуванні та збереженні культурної спадщини [8, 9].

Незважаючи на те, що точність моделі залежить від різних факторів (таких як мережа зображень, роздільна здатність, кількість зображень, калібрування), можна отримати високоточні геометричні моделі [10]. Створені 3D-моделі є 3D-поверхнями з фотореалістичними текстурами, а тому підходять для візуалізації та анімації. Крім того, цифрові камери зараз є повсюдними, доступними, портативними та простими у використанні. Це означає, що навіть нефахівці можуть скористатися цією технікою після мінімального навчання [11], а отже, фотограмметрія більше не обмежується знаннями чи місцезнаходженням користувачів і може бути легко впроваджена в усьому світі. Безпілотні літальні апарати (БПЛА) стали популярною платформою для середньо- та великомасштабного 3D-картографування місцевості. Однак, як пасивна технологія зондування, фотограмметрія має свої обмеження, такі як залежність від освітлення, відсутність масштабу та необхідність наявності текстури зображення.

Лазерне сканування в різних формах генерує щільні хмари 3D-точок, що описують геометрію об'єкта. Лазерне сканування швидко стало популярним у геодезичній галузі завдяки своїм характеристикам прямого і точного 3D-вимірювання та простоті використання. Збір даних може бути ефективним і плановим незалежно від умов освітлення завдяки активному зондуванню, що може бути

критично важливим, наприклад, для підземних вимірювань. Іншою характеристикою лазерного сканування, що дозволяє проникати крізь рослинність, є його здатність фіксувати об'єкти, що знаходяться за або під листям. Тому, серед інших технологій активного зондування, лазерне сканування зазвичай використовується для реєстрації, моделювання та моніторингу деформацій або структур об'єктів культурної спадщини [12].

Поєднання наземних геоінформаційних технологій задовольнить потреби в документуванні та моніторингу культурної спадщини невеликого та середнього масштабу, однак для великих археологічних об'єктів це може бути трудомістким і тривалим процесом, особливо для об'єктів, які не підходять для обстеження на місці, таких як зони конфлікту. У таких умовах ідеальною альтернативою є космічне або повітряне дистанційне зондування.

Геоінформаційні технології вже давно використовуються для управління просторовими базами даних про культурну спадщину з метою поліпшення планування та збереження. ЮНЕСКО та ЮНІТАР (Інститут навчання та досліджень ООН) об'єднали свої зусилля для захисту об'єктів культурної та природної спадщини за допомогою новітніх геопросторових технологій.

Завдяки повсюдному поширенню смартфонів та Інтернету, краудсорсинг та громадянська наука набувають все більшого поширення завдяки поєднанню ГІС та сучасних веб-карт і успішно застосовуються для документування культурної спадщини.

Всі ці геоінформаційні технології активно сприяють одному або декільком аспектам збереження куль-

турної спадщини. Тісно пов'язані з ними технології, такі як комп'ютерне проектування (CAD) та віртуальна реальність (VR), також використовуються для захисту та просування культурної спадщини і базуються на результатах цих геоінформаційних технологій.

Дослідження українських авторів підтверджують, що цифрові моделі рельєфу та об'єктів культурної спадщини, побудовані на основі геоінформаційних технологій та даних дистанційного зондування, є ключовим елементом систематизації інформації про пам'ятки та просторового аналізу загроз. У роботах [1; 3] запропоновано застосування ГІС для інтеграції архівних карт, аерофотознімків і сучасних даних, що забезпечує виявлення, класифікацію та картографування об'єктів спадщини.

Фотограмметрія, включно з багатозображувальною (multi-image) реконструкцією, тривалий час була базовою технологією для 3D-документування пам'яток; численні дослідження демонструють, що за належної планової та висотної прив'язки можливо досягати високої геометричної точності моделей. Її обмеженнями є залежність від освітлення, текстурованості поверхонь та складності забезпечення масштабу без контрольних вимірювань.

Лазерне сканування (наземне та мобільне) забезпечує прямий вимір 3D-координат із високою точністю та щільністю. Воно успішно застосовується для моніторингу деформацій будівель, детального обстеження конструкцій і створення високоточних цифрових моделей пам'яток. Водночас висока вартість обладнання, потреба у кваліфікованих операторах і складність логістики обмежують



Рис. 1. Створена 3-D модель гідрологічної пам'ятки природи місцевого значення "Природне джерело" в порівнянні з її оригіналом

масштабність таких зйомок, особливо на рівні малих територіальних громад.

З появою LiDAR-сенсорів у масових мобільних пристроях (планшети, смартфони) розпочався активний етап досліджень їхньої придатності для геодезичних і геоінформаційних задач. Перші оцінки показали, що LiDAR-сенсор iPhone / iPad забезпечує дуже низькі похибки на малих дистанціях (порядку міліметрів – одиниць сантиметрів), але точність суттєво знижується із зростанням відстані, складністю геометрії та неоднорідністю поверхонь. Подальші роботи продемонстрували, що iPhone-LiDAR може забезпечувати абсолютну точність на рівні приблизно ± 1 см для порівняно великих об'єктів, але точність погіршується

в умовах щільної рослинності та складного рельєфу.

Дослідження, орієнтовані на поєднання смартфонів з RTK-рішеннями (наприклад, viDoc RTK Rover), показують, що така система здатна досягати сантиметрового рівня точності в плані та по висоті для широкого спектра інженерно-геодезичних задач.

В процесі виконання дослідження було для апробації вибрано об'єкт - гідрологічна пам'ятка природи місцевого значення "Природне джерело" (рис.1). Пам'ятка площею 0,3 га розташована в межах Шпанівської територіальної громади Рівненського району Рівненської області, при північно-східній околиці села Хотин [11]. Статус надано згідно з рішенням облвиконкому від 22.11.1983 року №

343. Перебуває у віданні Шпанівської сільської ради [11].

Отримана хмара точок містила достатню кількість відліків для детального відображення габаритів споруди гідрологічної пам'ятки «Природне джерело» та основних елементів її оформлення. Після фільтрації шумів та побудови трикутної поверхні було сформовано тривимірну модель споруди, придатну для візуалізації та вимірювань.

Візуальний аналіз 3D-моделі показав:

- коректне відтворення основних площин і ребер конструкції;
- задовільне відображення дрібних елементів (ступенів, уступів);
- локальні артефакти в зонах з високим контрастом освітлення та в місцях контакту з водною поверхнею, що узгоджується з відомими обмеженнями LiDAR-сенсорів щодо прозорих і сильновідбивних поверхонь.

Відносна похибка δ визначалась за формулою:

$$\delta = \frac{|L_{\text{етал}} - L_{\text{LiDAR}}|}{L_{\text{етал}}} \cdot 100\%$$

де L_{LiDAR} – довжина, отримана за 3D-моделлю,

$L_{\text{етал}}$ – довжина, виміряна рулеткою.

Такий підхід відповідає стандартним практикам оцінки точності LiDAR-та фотограмметричних моделей у дослідженнях, присвячених мобільним і портативним сканерам.

За еталон було обрано лицеvu сторону споруди, довжину якої виміряно рулеткою:

$$L_{\text{етал}} = 210 \text{ см.}$$

За 3D-моделлю, побудованою на основі LiDAR-даних смартфона, отримано:

$$L_{\text{LiDAR}} = 205,7 \text{ см.}$$

Відносна похибка:

$$\delta = \frac{210 - 205,7}{210} \cdot 100\% \approx 2,04 \%$$

Отже, похибка вимірювання лінійних параметрів споруди створеної за допомогою LiDAR – сканера моделі не перевищує 2.04 %, тобто є прийнятною.

Завантажена у програму хмара точок має щільність, достатню для визначення відображення розмірів габаритів споруди на створюваній 3D моделі Джерела із достатньою точністю. За еталонне значення було обрано лицеvu сторону споруди, довжина якої становила 210 сантиметрів, виміряна рулеткою.

Експеримент із 3D-моделювання гідрологічної пам'ятки, поєднаний з аналізом літератури, дозволяє виокремити перспективні напрями застосування мобільного LiDAR у сфері спадщини:

1. Первинна інвентаризація малих об'єктів;
2. Моніторинг деформацій та ушкоджень (на якісному рівні);
3. Підготовка даних для цифрових двійників;
4. Швидке документування об'єктів у зонах ризику;
5. Краудсорсинг та громадянська наука.

З погляду організації масового обліку об'єктів спадщини, ключовою перевагою мобільних LiDAR-сенсорів є їхня доступність: значна частина населення вже має смартфони відповідного класу. Це створює потенціал для краудсорсингових платформ, у

яких користувачі можуть:

- виконувати локальні 3D-сканування об'єктів;
- завантажувати хмари точок чи 3D-моделі на веб-портал;
- доповнювати їх атрибутивною інформацією (назва, статус, стан, загрози).

Висновки і перспективи

Культурна спадщина територіальних громад в умовах воєнних дій, урбанізаційного тиску та територіальних трансформацій потребує оперативного, просторово детального та регулярного документування, що узгоджується з сучасними підходами ЮНЕСКО до інтеграції спадщини у політики сталого розвитку. LiDAR-технології та геоінформаційні системи є ефективним інструментарієм для виявлення, ідентифікації й моніторингу об'єктів культурної спадщини, а вбудовані в смартфони LiDAR-сенсори створюють можливість використання таких технологій на масовому рівні.

Експериментальне сканування гідрологічної пам'ятки природи «Природне джерело» смартфоном із LiDAR-модулем показало, що відносна похибка вимірювання контрольної довжини (210 см) за 3D-моделлю не перевищує 2,04 %. Цей результат узгоджується з міжнародними оцінками точності мобільного LiDAR і є прийнятним для задач первинної інвентаризації та моніторингу малих об'єктів спадщини.

Основними обмеженнями мобільного LiDAR є дальність сканування, залежність точності від складності сцени та властивостей поверхні, чутливість до траєкторії руху оператора, а також потреба у додатковій геоприв'язці для

інтеграції в ГІС. Це потребує розроблення чітких регламентів та методичних рекомендацій щодо використання смартфонів у завданнях 3D-документування спадщини.

Поєднання мобільного LiDAR, ГІС-платформ та краудсорсингових підходів створює перспективи формування розподілених систем обліку й моніторингу культурної спадщини територіальних громад. За умови стандартизації протоколів збору даних та впровадження процедур контролю якості, залучення громадян до 3D-фіксації об'єктів може суттєво підвищити повноту й актуальність інформаційних ресурсів.

Список використаної літератури

1. Четверіков Б., Бабій Л., Кузик З., Заяць І., Процик М. Дослідження цифрових моделей рельєфу нерухомих об'єктів історико-культурної спадщини, створених за різні роки // *Геодезія, картографія і аерофотознімання*. 2022. №96. С. 65–76.
2. Бірьова О. Історико-культурна спадщина України: цифрові технології збереження та популяризація в умовах воєнних дій // *Науково-теоретичний альманах «Грані»*. 2023. Т. 26, №5. С. 90–94. DOI: <https://doi.org/10.15421/1723106>
3. Калинич І. В., Четверіков Б., Хінціцький О. Методика картографування об'єктів історико-культурної спадщини засобами ГІС-технологій із використанням архівних картографічних та аероматеріалів // *Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва*. 2021. Вип. 1 (41). С. 97–103.
4. Vecco M. A definition of cultural heritage: From the tangible to the intangible // *Journal of Cultural Heritage*. 2010. Vol. 11. P. 321–324.
5. Solla M., Gonçalves L. M. S., Gonçalves G.,

- Francisco C., Puente I., Providência P., Gaspar F., Rodrigues H. A Building Information Modeling Approach to Integrate Geomatic Data for the Documentation and Preservation of Cultural Heritage // *Remote Sensing*. 2020. Vol. 12, No. 24. P. 4028. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs12244028>
6. Bruno N., Roncella R. HBIM for Conservation: A New Proposal for Information Modeling // *Remote Sensing*. 2019. Vol. 11. P. 1751.
 7. López F. J., Leronés P. M., Llamas J., Gómez-García-Bermejo J., Zalama E. A Review of Heritage Building Information Modeling (H-BIM) // *Multimodal Technologies and Interaction*. 2018. Vol. 2. P. 21.
 8. Remondino F., Rizzi A. Reality-based 3D documentation of natural and cultural heritage sites—techniques, problems, and examples // *Applied Geomatics*. 2010. Vol. 2, No. 3. P. 85–100.
 9. Dhonju H. K., Xiao W., Shakya B., Mills J. P., Sarhosis V. Documentation of heritage structures through geo-crowdsourcing and web-mapping // *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. 2017. Vol. 42. P. 17–21.
 10. Koutsoudis A., Vidmar B., Ioannakis G., Arnaoutoglou F., Pavlidis G., Chamzas C. Multi-image 3D reconstruction data evaluation // *Journal of Cultural Heritage*. 2014. Vol. 15, No. 1. P. 73–79.
 11. Boochs F., Heinz G., Huxhagen U., Müller H. Low-cost image based system for non-technical experts in cultural heritage documentation and analysis // *XXI International CIPA Symposium, AntiCIPAting the future of the cultural past*. 2007. P. 01–06.
 12. Jaafar H. A., Meng X., Sowter A., Bryan P. New approach for monitoring historic and heritage buildings: Using terrestrial laser scanning and generalised Procrustes analysis // *Structural Control and Health Monitoring*. 2017. Vol. 24, No. 11. e1987.
- ## References
1. Chetverikov, B., Babii, L., Kuzyk, Z., Zaiats, I., & Protsyk, M. (2022). Doslidzhennia tsyfrovykh modelei rel'iefu nerukhomykh ob'ektiv istoriko-kulturnoi spadshchyny, stvorenykh za rizni roky [Study of digital terrain models of immovable objects of historical and cultural heritage created in different years]. *Heodeziia, kartohrafiia i aerofotoznimannia*, 96, 65–76.
 2. Birova, O. (2023). Istoryko-kulturna spadshchyna Ukrainy: tsyfrovi tekhnolohii zberezhennia ta populiaryzatsiia v umovakh voiennykh dii [Historical and cultural heritage of Ukraine: digital technologies for preservation and popularization under wartime conditions]. *Naukovo-teoretychnyi almanakh Hrani*, 26(5), 90–94. <https://doi.org/10.15421/1723106>
 3. Kalynych, I. V., Chetverikov, B., & Khintsitskyi, O. (2021). Metodyka kartohrafuvannia ob'ektiv istoriko-kulturnoi spadshchyny zasobamy HIS-tekhnolohii iz vykorystanniam arkhivnykh kartohrafichnykh ta aeromaterialiv [Methodology of mapping historical and cultural heritage objects using GIS technologies with archival cartographic and aerial materials]. *Suchasni dosiagnennia heodezychnoi nauky ta vyrobnytstva*, 1(41), 97–103.
 4. Vecco, M. (2010). A definition of cultural heritage: From the tangible to the intangible. *Journal of Cultural Heritage*, 11, 321–324.
 5. Slla, M., Gonçalves, L. M. S., Gonçalves, G., Francisco, C., Puente, I., Providência, P., Gaspar, F., & Rodrigues, H. (2020). A Building Information Modeling Approach to Integrate Geomatic Data for the Documentation and Preservation of Cultural Heritage. *Remote Sensing*, 12(24), 4028. <https://doi.org/10.3390/rs12244028>
 6. Bruno, N., & Roncella, R. (2019). HBIM for Conservation: A New Proposal for Information Modeling. *Remote Sensing*, 11, 1751.

7. López, F. J., Lerones, P. M., Llamas, J., Gómez-García-Bermejo, J., & Zalama, E. (2018). A Review of Heritage Building Information Modeling (H-BIM). *Multimodal Technologies and Interaction*, 2, 21.
8. Remondino, F., & Rizzi, A. (2010). Reality-based 3D documentation of natural and cultural heritage sites—techniques, problems, and examples. *Applied Geomatics*, 2(3), 85–100.
9. Dhonju, H. K., Xiao, W., Shakya, B., Mills, J. P., & Sarhosis, V. (2017, April). Documentation of heritage structures through geo-crowdsourcing and web-mapping. In *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* (Vol. 42, pp. 17–21). Copernicus Publications.
10. Koutsoudis, A., Vidmar, B., Ioannakis, G., Arnaoutoglou, F., Pavlidis, G., & Chamzas, C. (2014). Multi-image 3D reconstruction data evaluation. *Journal of Cultural Heritage*, 15(1), 73–79.
11. Boochs, F., Heinz, G., Huxhagen, U., & Müller, H. (2007, October). Low-cost image based system for nontechnical experts in cultural heritage documentation and analysis. In *XXI International CIPA Symposium, AntiCIPAting the future of the cultural past*. 01–06.
12. Jaafar, H. A., Meng, X., Sowter, A., & Bryan, P. (2017). New approach for monitoring historic and heritage buildings: Using terrestrial laser scanning and generalised analysis. *Structural Control and Health Monitoring*, 24(11), e1987.

Koshel A. O., Kolganova I. G., Poltavets A. M., Yukhymuk V. O.
MOBILE LIDAR, GEOINFORMATION TECHNOLOGIES AND CROWDSOURCING
FOR THE DOCUMENTATION AND PRESERVATION OF CULTURAL HERITAGE
OBJECTS IN TERRITORIAL COMMUNITIES

LAND MANAGEMENT, CADASTRE AND LAND MONITORING 4'25: 130-141.

<http://dx.doi.org/10.31548/zemleustriy2025.02.10>

Abstract. The article substantiates the integrated use of LiDAR technologies, geographic information systems (GIS) and crowdsourcing approaches for identifying, recording and monitoring historical and cultural heritage sites within local communities. It is emphasised that in the context of military action, urbanisation pressure and territorial transformations, cultural heritage is considered an important resource for sustainable development in accordance with UNESCO approaches and the World Heritage Sustainable Development Policy (2015).

It is shown that modern LiDAR systems, including sensors built into smartphones, provide dense point clouds and three-dimensional models of objects with sufficient accuracy to solve a significant part of the tasks of documentation and operational monitoring, although they are inferior to high-precision ground and airborne laser scanners. Particular attention is paid to the hypothesis regarding the possibility of creating 3D models of cultural heritage objects using common smartphone models with built-in LiDAR sensors and assessing the accuracy of measurements of such models.

To test the approach, a field scan of the local hydrological natural monument "Natural Spring" within the Shpanivska territorial community of the Rivne region was performed using a smartphone with a LiDAR module. Processing point clouds in Polycam, AutoCAD, PIX4D, 3ds Max, and Blender software made it possible to build a 3D model of the structure and estimate the relative error in measuring linear dimensions. For a reference section 210 cm long, the relative measurement error was 2.04%, which is consistent with the results of international studies on the accuracy

of mobile LiDAR sensors, which demonstrate millimetre-centimetre accuracy for small objects and centimetre-decimetres errors in complex environments.

The technical limitations of mobile LiDAR (limited scanning range, reduction in density and accuracy with distance, sensitivity to surface properties, influence of the operator's scanning trajectory, need for control measurements) were analysed and the prospects for their application for mass crowdsourced data collection on heritage objects were demonstrated. Based on an analysis of geocrowdsourcing experience, it is argued that the combination of the prevalence of smartphones, mobile LiDAR sensors and web GIS creates the conditions for the formation of distributed information systems for recording, monitoring and preliminary assessment of the condition of monuments at the level of local communities, provided that data standardisation and quality control procedures are implemented.

Keywords: *geoinformation technologies, Lidar, amalgamated territorial community, historical and cultural heritage, sustainable development.*
