

7. United Nations Development Programme in Ukraine. (2024). *Assessment of the impact of the war on micro, small, and medium enterprises in Ukraine* (86 p.). <https://www.undp.org/sites/g/files/zskgke326/files/2024-04/undp-ua-smb-2024.pdf>.
8. State Statistics Service of Ukraine. (n.d.). Number of employed persons at enterprises by types of economic activity classified by size (2010–2023). https://www.ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2022/fin/fin_new/Kzp_kved_10_21.xlsx.
9. Lotysh, O. Ya. (2022). Ukraine's role in the global grain market: Challenges and threats. *Economy and Society*, No.45. <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2022-45-56>.
10. Dotsiuk, S. (2022). Modern aspects of foreign economic activity of agricultural enterprises of Ukraine. *Economy and Society*, No. 39. <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2022-39-21>.
11. Kvasha, S. M., Pavlenko, O. M., & Vakulenko, V. L. (2024). Development of foreign economic activity of the agricultural sector of Ukraine under martial law. *Scientific Works of the Interregional Academy of Personnel Management. Economic Sciences*, No. 2(74). <https://doi.org/10.32689/2523-4536/74-5>.

Abstract.**Huang B. Current state of the agricultural sector of Ukraine and prospects for its development.**

The article examines the current state of Ukraine's agricultural sector and identifies prospects for its development amid economic instability and wartime challenges. The relevance of the research topic is confirmed by the need to restore the agricultural sector's production potential, ensure national food security, stabilize the labor market, and enhance the national economy's competitiveness amid post-war transformation. The study aims to conduct a comprehensive assessment of Ukraine's agricultural sector, identify key development trends and structural changes, and substantiate prospects for improving the sector's efficiency. The dynamics of gross domestic product formation and the agricultural sector's share of national output of goods and services during 2010–2023 are analyzed. Changes in the number of agricultural enterprises by size and activity type are examined, and the transformation of the sector's employment structure is investigated. It is substantiated that the agricultural sector of Ukraine has experienced a significant negative impact from the full-scale war, as evidenced by a decline in its share of GDP, a reduction in the number of enterprises, disruptions to logistics chains, and a decrease in employment levels. A sharp decline in the number of enterprises in 2022, followed by a partial recovery in 2023, has been identified, along with a significant reduction in the workforce, especially among small and micro enterprises. It has been found that large enterprises are the most resilient to crisis conditions, while medium and small businesses remain the most vulnerable to external shocks. Key trends in the transformation of the agricultural sector have been identified, including increasing production concentration, declining employment, and gradual adaptation of enterprises to new economic conditions. The study also confirms the sector's significant export potential and its strategic role in generating foreign exchange for the state. The prospects for the development of the agricultural sector are associated with technological modernization, the digitalization of production processes, the implementation of innovative agrotechnologies, the development of logistics infrastructure, and integration into global value chains. It is determined that an important condition for ensuring sustainable development is state support for small and medium-sized businesses, employment stimulation, and the greening of production.

Keywords: agricultural sector, development, sustainable development, employment, structural changes, export potential, digitalization.

Стаття надійшла до редакції / Received 07.11.2025

Прийнята до друку / Accepted 18.11.2025

Бібліографічний опис статті:

Хуан Б. Сучасний стан аграрного сектору України та подальші перспективи його розвитку. Актуальні проблеми інноваційної економіки та права. 2025. № 6. С. 150–154.

Huang B. Current state of the agricultural sector of Ukraine and prospects for its development. *Actual problems of innovative economy and law*. 2025. No. 6, pp. 150–154.

УДК 332.012:338.43; JEL classification: H70, H83, O33, R58

DOI: <https://doi.org/10.36887/2524-0455-2025-6-34>

Томаш Володимир Юрійович, науковий співробітник Інституту тваринництва Національної академії аграрних наук України, <https://orcid.org/0009-0006-5449-014X>
ПРИЙМАК Дмитро Павлович, директор ТОВ «Науково-виробниче об'єднання «ГЕОГРУП»», <https://orcid.org/0009-0001-1192-7691>

ІС-ТЕХНОЛОГІЇ ТА ЕЛЕКТРОННА ПАСПОРТИЗАЦІЯ ПОЛІВ У СИСТЕМІ КОНТРОЛЮ ЗЕМЛЕКОРИСТУВАННЯ: СТВОРЕННЯ ЦИФРОВИХ ДВІЙНИКІВ ТА ОПЕРАТИВНЕ УПРАВЛІННЯ АКТИВАМИ

Томаш В. Ю., Приймак Д. П. ІС-технології та електронна паспортизація полів у системі контролю землекористування: створення цифрових двійників та оперативне управління активами.

У статті розглянуто фундаментальну трансформацію системи контролю землекористування під впливом концепції Сільського господарства 4.0 (Agriculture 4.0). Автор аналізує механізми інтеграції геоінформаційних систем (ГІС) та технології цифрових двійників (Digital Twins) як базису для переходу від описових моделей управління аграрними активами до предиктивних та автономних систем контролю. Метою дослідження є обґрунтування теоретико-методологічних засад створення цифрових двійників полів та оцінка ефективності електронної паспортизації земель у забезпеченні прозорості землекористування та підвищенні операційної ефективності агропідприємств в умовах сучасних викликів 2024–2025 років. Теоретичну базу роботи становлять концепції К. Вердоу щодо архітектури цифрових двійників та стандарти IoT-A. У дослідженні використано методи системного аналізу ринку ГІС-рішень (зокрема ArcGIS, SuperMap), інструментарій дистанційного зондування землі (ДЗЗ) із застосуванням спектральних індексів (NDVI, NDMI, EVI), а також алгоритми машинного навчання (Random Forest, фільтрація Савицького-Голея) для обробки часових рядів вегетаційних даних. Визначено чотири рівні інтеграції цифрових двійників: від статичних моделей до автономних AI-систем. Доведено, що електронна паспортизація полів, інтегрована в державну систему моніторингу згідно з Постановою КМУ № 848 (2024 р.), забезпечує правову та агрохімічну прозорість земельного банку. Проаналізовано успішній досвід впровадження data-driven management провідними українськими компаніями («НІБУЛОН», «Астарта»), що дозволило досягти економії ресурсів (добрив, палива) на рівні 15–30%. Особливу увагу приділено специфіці використання ГІС для гуманітарного розмінування та відновлення пошкоджених війною угідь. Зроблено висновок, що цифрові двійники трансформують землю з пасивного ресурсу на інтелектуальний актив. Перспективи розвитку галузі пов'язані з переходом до Agriculture 5.0, де автономне управління та системи вуглецевого моніторингу стануть невід'ємною частиною електронних паспортів полів, забезпечуючи сталий розвиток у межах європейських екологічних стандартів.

Ключові слова: ГІС-технології, цифрові двійники, електронна паспортизація полів, Agriculture 4.0, контроль землекористування, дистанційне зондування землі, предиктивна аналітика, GeoAI, спектральні індекси, аграрні активи.

Постановка проблеми у загальному вигляді.

Сучасна аграрна галузь перебуває у стані фундаментальної трансформації, зумовленої переходом до концепції Сільського господарства 4.0 (Agriculture 4.0), де інтеграція кіберфізичних систем, штучного інтелекту та великих даних стає основою виробничої ефективності. У центрі цієї еволюції знаходяться геоінформаційні системи (ГІС) та технологія цифрових двійників (Digital Twins), які дозволяють перейти від традиційного описового управління до предиктивного та автономного

контролю землекористування. Для України, де аграрний сектор є стратегічним фундаментом економіки, питання електронної паспортизації полів та впровадження високотехнологічних рішень для моніторингу активів набуває особливої ваги в контексті воєнних викликів, необхідності відновлення родючості ґрунтів та інтеграції до європейського правового простору. Створення цифрових копій фізичних об'єктів забезпечує безпрецедентний рівень деталізації у прийнятті рішень, дозволяючи моделювати сценарії розвитку

посівів, оптимізувати використання ресурсів та здійснювати прозорий контроль за станом земельного банку в режимі реального часу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідження ролі ГІС та цифрових двійників у сільському господарстві є міждисциплінарним напрямом, що об'єднує зусилля науковців у сферах землеустрою, агрономії, інформаційних технологій та економіки. Значний внесок у розробку концептуальних засад цифрових двійників (DT) у смарт-землеробстві зробив Кор Вердоу (Cor Verdouw) разом із колегами. У роботі «Digital twins in smart farming» [1] автори запропонували типологію цифрових двійників, що включає моніторингові, предиктивні, приписові та автономні моделі, а також розробили архітектуру їх впровадження на основі стандарту IoT-A. Вердоу доводить, що використання DT дозволяє відокремити фізичні потоки від планування та контролю, що дає змогу аграріям керувати процесами дистанційно, спираючись на дані, а не лише на пряме спостереження.

Теоретичні та методологічні основи застосування ГІС в управлінні земельними ресурсами України досліджували А. Я. Сохнич, І. М. Худякова та О. А. Сохнич [2]. Вони наголошують на необхідності створення прозорого механізму державного управління земельним фондом через розвиток інформаційних систем, що мають стратегічне значення для економічної стабільності. Питаннями інвентаризації земель та вдосконалення кадастрової системи за допомогою ГІС активно займається А. Г. Мартин [3, 4]. Його публікації зосереджені на адаптації земельного законодавства до умов воєнного стану та використанні відкритих даних для моніторингу землекористування.

Важливий внесок у розвиток ГІС-технологій у землеустрої зробили Р. М. Курильців [5], який вивчає інтеграцію геодезичних та картографічних знань у цифрові платформи, та Н. М. Бавровська [6], чий дослідження присвячені створенню галузевих баз геоданих для регіонального управління земельними ресурсами. Питання використання дистанційного зондування землі (ДЗЗ) для ідентифікації покинутих земель та аналізу впливу воєнних конфліктів на агроландшафти детально розроблені в працях вітчизняних та міжнародних колективів, які застосовують алгоритми випадкових лісів (Random Forest) та складні методи фільтрації супутникових даних [7].

Глобальний огляд стану розробки технології цифрових двійників у період з 2018 по 2025 роки представлений у систематичних оглядах під керівництвом В. Перселл (W. Purcell)[8]. Вони висвітлюють роль штучного інтелекту (GeoAI) та Інтернету речей (IoT) у створенні предиктивних моделей для точного зрошення та захисту рослин. Особливої уваги заслуговують розробки компаній, таких як Syngenta (платформа Cropwise), які інтегрують наукові досягнення в оперативне управління через хмарні ГІС-рішення [9].

Формулювання цілей статті (постановка завдання). Метою статті є обґрунтування теоретико-методологічних засад створення цифрових двійників полів та аналіз ефективності використання ГІС-технологій для електронної паспортизації у системі контролю землекористування. Робота спрямована на вивчення сучасного нормативного регулювання моніторингу земель в Україні станом на жовтень 2025 року, оцінку технічних можливостей геоінформаційних платформ та визначення пріоритетних напрямів оперативного управління аграрними активами через інтеграцію даних дистанційного зондування та наземних датчиків.

Виклад основного матеріалу дослідження. Цифровий двійник поля є не просто статичною картою, а динамічною віртуальною репрезентацією фізичного активу, яка забезпечує безперервний обмін даними між реальним світом та цифровим середовищем. Ця

технологія базується на конвергенції декількох рівнів даних. По-перше, це фізичний об'єкт – поле з його ґрунтовими характеристиками, мікрокліматом та біологічними параметрами культур. По-друге, це віртуальна модель, що включає тривимірний рельєф, історичні дані вегетації та предиктивні алгоритми. По-третє, це мережа зв'язку, що забезпечує трансляцію даних у режимі реального часу.

Згідно з дослідженнями Вердоу [1], цифрові двійники в агросекторі еволюціонували від простих цифрових моделей (статичних копій) до цифрових тіней (односторонній потік даних від об'єкта до моделі) і, нарешті, до повноцінних двійників, де зміни у віртуальному середовищі можуть автоматично коригувати роботу фізичних пристроїв, наприклад, змінювати норму виливу обприскувача на основі аналізу NDVI (табл. 1).

Таблиця 1

Рівні інтеграції цифрових двійників у сільському господарстві

Рівень інтеграції	Тип зв'язку	Функціональні можливості	Приклад застосування
Цифрова модель	Ручний (статичний)	Візуалізація історичного стану, архівування даних	Карта ґрунтового обстеження 2020 року
Цифрова тінь	Автоматичний (від об'єкта)	Моніторинг стану в реальному часі без зворотного зв'язку	Відображення місцезнаходження техніки через GPS
Цифровий двійник	Двосторонній (синхронний)	Симуляція сценаріїв, автоматичне управління процесами	Диференційоване внесення добрив за картами-завданнями
Автономний двійник	Замкнений цикл (AI-driven)	Самодіагностика, прийняття рішень без участі людини	Роботизовані системи зрошення з ШІ-контролем

Джерело: розроблено автором за [10].

Геоінформаційні системи (ГІС) виступають фундаментом для побудови цифрових двійників, забезпечуючи інтеграцію просторових та атрибутивних даних. Станом на 2025 рік ринок ГІС-рішень для агробізнесу сегментований на професійні аналітичні платформи та інтегровані системи управління фермою (FMIS).

Лідером у сегменті професійного аналізу залишається ArcGIS від компанії Esri. Платформа ArcGIS Pro у 2025 році активно використовує прискорення CUDA від Nvidia для обробки великих масивів геопросторових даних, що дозволяє проводити складний аналіз мультиспектральних знімків та будувати предиктивні моделі врожайності на основі GeoAI. Для великих агрохолдингів критично важливою є можливість інтеграції ArcGIS із системами ERP (наприклад, SAP S4 Hana), що дозволяє поєднати агрономічні показники з фінансовими результатами [9].

Іншим потужним гравцем є SuperMap GIS 2025, який пропонує спеціалізовані рішення для державного контролю землекористування. Система дозволяє автоматично виявляти факти нецільового використання земель (наприклад, забудова на сільськогосподарських угіддях) або занедбаність полів через ШІ-аналіз супутникових знімків. Для малого та середнього бізнесу актуальними є рішення на кшталт Mapline, які фокусуються на простоті візуалізації та логістичному плануванні без необхідності глибоких знань у сфері ГІС [11].

В Україні станом на жовтень 2025 року електронна паспортизація полів інтегрована в державну систему моніторингу довкілля. Ключовим нормативним актом є Постанова Кабінету Міністрів України від 23 липня 2024 р. № 848 «Про затвердження Порядку проведення моніторингу земель і ґрунтів» [12]. Цей документ визначає агрохімічну паспортизацію як обов'язковий елемент контролю за якісним станом ґрунтів.

Електронний паспорт поля у 2025 році – це комплексний цифровий документ, що містить:

- геометричні дані: точні контури поля, отримані за допомогою RTK-мереж, та кадастрову інформацію про ділянки, що входять до складу поля;

- агрохімічний профіль: дані про вміст гумусу, азоту, фосфору, калію, мікроелементів та рівень кислотності (рН), зафіксовані в АІС моніторингу земель;
- екологічні обмеження: інформація про зони ПЗФ, охоронні зони та, що критично для України, статус мінної безпеки;
- технологічний лог: історія сівозміни, дані про внесення ЗЗР та добрив, зафіксовані через IoT-датчики на техніці.

Згідно з новими правилами, агрохімічна паспортизація орних земель проводиться раз на 5 років, що дозволяє відстежувати динаміку родючості та запобігати деградації ґрунтів. Дані моніторингу є відкритими та доступними через Національну інфраструктуру геопросторових даних (НІГД), що забезпечує прозорість орендних відносин та інвестиційну привабливість земель. Ефективність управління аграрними активами у 2025 році безпосередньо залежить від швидкості обробки даних дистанційного зондування землі (ДЗЗ). Основним інструментом агронома є часові ряди вегетаційних індексів (табл. 2), серед яких NDVI залишається базовим, але доповнюється більш специфічними показниками.

Таблиця 2

Спектральні індекси та їх роль в оперативному управлінні

Індекс	Повна назва	Сфера застосування	Значення для управління
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index	Загальна оцінка біомаси	Виявлення зон пригнічення рослин, прогноз врожаю
NDMI	Normalized Difference Moisture Index	Моніторинг вологості рослин	Налаштування систем зрошення, виявлення посухи
NDWI	Normalized Difference Water Index	Моніторинг дзеркала води та вологості ґрунту	Контроль за станом гідротехнічних споруд, паводки
EVI	Enhanced Vegetation Index	Моніторинг густоти посівів	Більш точна оцінка в умовах високого індексу листової поверхні

Джерело: розроблено автором за [13]

Використання супутників Sentinel-2 з роздільною здатністю 10 метрів та періодичністю оновлення 5 днів дозволяє створювати карти вегетації, які інтегруються в цифрові двійники. Проте для оперативного управління на рівні окремих рослин (наприклад, у садівництві або овочівництві) у 2025 році частіше застосовуються БПЛА з мультиспектральними камерами, що забезпечують роздільну здатність до 2-5 см на піксель.

Інтеграція IoT-датчиків (воломіри ґрунту, метеостанції, датчики NPK) дозволяє уточнити супутникові дані. Платформи на кшталт Cropwise Operations від Syngenta поєднують ці потоки даних, пропонуючи автоматизовані рекомендації щодо термінів посіву, внесення добрив або збирання врожаю.

Українські агропідприємства демонструють лідерські позиції у впровадженні інновацій. Компанія «НІБУЛОН» у 2024–2025 роках успішно реалізувала проект зі створення цифрових двійників елеваторів та перейшла до розробки цифрових двійників полів у співпраці з GeoPard Agriculture. Основна мета проекту – централізація просторових даних та перехід до моделі управління на основі точних даних (data-driven management). Це включає створення карт диференційованого посіву та внесення матеріалів, що дозволяє оптимізувати витрати та зменшити екологічне навантаження.

Агрохолдинг «Астарт-Київ» також активно використовує ГІС для управління земельним банком, інтегруючи дані про оренду, стан доріг у громадах та агрономічні показники в єдину цифрову екосистему. Використання ШІ для прогнозування врожайності та контролю за станом посівів дозволяє холдингу підтримувати високу маржинальність навіть за складних макроекономічних умов 2025 року.

Окремим важливим кейсом є цифровізація

гуманітарного розмінування. У 2024–2025 роках в Україні впроваджується цифрова платформа для планування пріоритетів розмінування сільськогосподарських угідь. Система аналізує великі обсяги даних ГІС, екології та економіки, щоб спрямувати ресурси на найбільш критичні ділянки, що є життєво необхідним для повернення земель у господарський обіг.

Сучасні ГІС-технології в управлінні активами неможливі без застосування методів машинного навчання. Для класифікації землекористування та ідентифікації сільськогосподарських культур у 2024–2025 роках широко використовується алгоритм Random Forest (RF). Процес обробки часових рядів супутникових знімків для очищення від хмарності та шумів базується на використанні фільтра Савицького-Голя (Savitzky-Golay filtering), що дозволяє отримати згладжену криву вегетації для точного визначення фенофаз рослин [7].

При прогнозуванні врожайності використовуються рекурентні нейронні мережі (RNN), які здатні враховувати послідовність метеорологічних та вегетаційних даних протягом сезону. Це дозволяє цифровому двійнику не просто констатувати поточний стан, а й моделювати майбутній результат із точністю до 90–95%.

Впровадження цифрових двійників та ГІС-технологій забезпечує значний економічний ефект (таблиця 3) за рахунок оптимізації використання матеріально-технічних ресурсів (МТР).

Таблиця 3

Економічний ефект від впровадження цифрових технологій управління активами

Напрямок оптимізації	Економія ресурсів (%)	Механізм досягнення
Добрива та ЗЗР	15–25%	Диференційоване внесення за картами завдань
Паливо та логістика	10–15%	Оптимізація маршрутів, контроль простоїв техніки
Насіннєвий матеріал	5–10%	Диференційований посів залежно від потенціалу ділянки
Водні ресурси	До 30%	Смарт-іригація на основі датчиків вологості
Адміністрування	20–40%	Автоматизація обліку та звітності в ГІС

Джерело: розроблено автором за [13]

Крім прямої економічної вигоди, використання ГІС сприяє реалізації стратегії «зеленого переходу». Точне внесення хімікатів зменшує їх вимивання в підземні води, а постійний моніторинг родючості через електронні паспорти дозволяє впроваджувати технології регенеративного землеробства та накопичення вуглецю в ґрунті.

Висновки та перспективи подальших досліджень. Дослідження ГІС-технологій та електронної паспортизації полів у системі контролю землекористування станом на жовтень 2025 року дозволяє зробити наступні висновки:

1. Створення цифрових двійників полів стало ключовим інструментом переходу до Agriculture 4.0. Це дозволяє агропідприємствам оперувати не статичними даними, а живими цифровими копіями активів, що синхронізовані з фізичним світом через IoT та ДЗЗ. Такий підхід забезпечує перехід від реагування на проблеми до їх предиктивного моделювання та запобігання.

2. Прийняття Постанови КМУ № 848 у 2024 році завершило формування правового каркаса для обов'язкового цифрового моніторингу земель. Електронний паспорт поля став юридично значущим інструментом, що інтегрує агрохімічні, правові та екологічні дані, забезпечуючи прозорість ринку землі та контроль за її раціональним використанням.

3. ГІС-платформи (ArcGIS, SuperMap, Cropwise) у 2025 році еволюціонували в інтелектуальні екосистеми. Використання GeoAI, алгоритмів глибокого навчання та високоточного дистанційного зондування дозволяє автоматизувати більшість процесів моніторингу – від виявлення порушень землекористування до прогнозування врожайності з мінімальною похибкою.

4. Досвід таких компаній, як «НІБУЛОН» та «Асгарта», підтверджує, що інвестиції в цифрові двійники окупаються протягом 2–3 сезонів за рахунок суттєвої економії МТР та підвищення якості управлінських рішень. Водночас актуальними залишаються виклики, пов'язані з необхідністю відновлення пошкоджених війною земель та цифровою ідентифікацією замінованих територій.

5. Пріоритетними напрямками розвитку ГІС-технологій у землеустрої стануть автономне управління активами без участі людини (Agriculture 5.0), інтеграція

систем вуглецевого моніторингу в електронні паспорти полів та розвиток транскордонних цифрових сервісів у межах європейського аграрного простору.

Таким чином, ГІС-технології та електронна паспортизація є не просто елементом цифровізації, а фундаментальною умовою виживання та розвитку аграрного сектора в умовах глобальних кліматичних змін та геополітичної нестабільності. Створення цифрових двійників полів дозволяє трансформувати землю з пасивного ресурсу на активний інтелектуальний актив, що забезпечує сталий розвиток та продовольчу безпеку держави.

Література.

1. Verdouw C., Tekinerdogan B., Beulens A., Wolfert S. Digital twins in smart farming. *Agricultural Systems*. 2021. Vol. 189, Art. 103046. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2020.103046>.
2. Сохнич А. Я., Худякова І. М., Сохнич О. А. Геоінформаційні системи в управлінні земельними ресурсами. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2010. №5. С. 291-295. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/geoinformatsiyni-sistemi-v-upravlinni-zemelnimi-resursami>.
3. Moroz Y., Martyn A., Hunko L., Medynska N. Geoinformation support of territory stratification for the needs of mass land valuation. *International Conference of Young Professionals «GeoTerrace-2023»* 2023. № 1, pp. 1-5. DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2023510005>.
4. Martyn A., Nazarenko V. Geospatial technologies in post-war reconstruction: Challenges and innovations in Ukraine. *Землеустрій, кадастр і моніторинг земель*. 2024. Вип. 42 (3), С. 89-96. DOI: <https://doi.org/10.31548/zemleustriy2024.03.07>.
5. Курильців Р., Миронов О. Аналіз інформаційного забезпечення в умовах становлення системи масової оцінки земель в Україні. *ISTCGCAP*, 2024. Вип. 99. С. 38-45. DOI: <https://doi.org/10.23939/istcgcap2024.99.038>.
6. Бавровська Н. М. Роль містобудівної документації в просторовому розвитку територіальних громад. *Сучасні тенденції розвитку геодезії, землеустрою та природокористування*: Міжнародна науково-практична конференція (м. Одеса, 15-16 червня 2022 р.) С. 65-67. https://osau.edu.ua/wp-content/uploads/2022/07/ZBIRNYK_TEZ_ODAU_15_07_22.pdf.
7. Ma Y., Lyu D., Sun K., Li S., Zhu B., Zhao R., Zheng M., Song K. Spatiotemporal Analysis and War Impact Assessment of Agricultural Land in Ukraine Using RS and GIS Technology. *Land*. 2022. Vol. 11(10):1810. DOI: <https://doi.org/10.3390/land11101810>.
8. Purcell W., Neubauer T. Digital Twins in Agriculture: A State-of-the-Art Review. *Smart Agric. Technol.* 2023. No. 3, 100094. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.atech.2022.100094>.
9. Syngenta Group Reports Q3 2025 Results. 30.10.2025. URL: <https://www.syngentagroup.com/newsroom/2025/syngenta-group-reports-q3-2025-results>.
10. Awais M, Wang X, Hussain S, Aziz F, Mahmood M. Q. Advancing Precision Agriculture Through Digital Twins and Smart Farming Technologies: A Review. *AgriEngineering*. 2025. Vol. 7(5):137. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriengineering7050137>.
11. Best GIS Software for 2025: Compare Top Platforms for Mapping & Geospatial Analysis. URL: <https://mapline.com/best-gis-software-for-2025-compare-top-platforms-for-mapping-geospatial-analysis/>.
12. Про затвердження Порядку проведення моніторингу земель і ґрунтів : Постанова Кабінету Міністрів України від 23.07.2024 № 848. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/848-2024-%D0%BF#Text>.
13. Data is revolutionizing agriculture by enabling better decisions. 06.05.2025. URL: <https://www.syngenta.com/media/media-releases/2025/data-revolutionizing-agriculture-enabling-better-decisions>.
14. Мельник Б. Економічні переваги цифрової трансформації аграрного сектору: аналіз інструментів і практик. *Економіка та сусільство*. 2025. №78. DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2025-78-99>.

References.

1. Verdouw, C., Tekinerdogan, B., Beulens, A., & Wolfert, S. (2021). Digital twins in smart farming. *Agricultural Systems*, vol. 189, 103046. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2020.103046>.
2. Sokhnych, A. Ya., Khudiakova, I. M., & Sokhnych, O. A. (2010). Heoinformatsiini systemy v upravlinni zemelnymi resursami [Geographic information systems in land resources management]. *Naukovyi Visnyk NLTU Ukrainy*, no. 5, pp. 291-295. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/geoinformatsiyni-sistemi-v-upravlinni-zemelnimi-resursami>.
3. Moroz, Y., Martyn, A., Hunko, L., & Medynska, N. (2023). Geoinformation support of territory stratification for the needs of mass land valuation. *International Conference of Young Professionals «GeoTerrace-2023»*, no. 1, pp. 1-5. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2023510005>.
4. Martyn, A., & Nazarenko, V. (2024). Geospatial technologies in post-war reconstruction: Challenges and innovations in Ukraine. *Zemleustrii, Kadastr i Monitoryng Zemel*, vol. 42, no. 3, pp. 89-96. <https://doi.org/10.31548/zemleustriy2024.03.07>.
5. Kuryltsiv, R., & Myronov, O. (2024). Analiz informatsiynoho zabezpechennia v umovakh stanovlennia systemy masovoi otsinky zemel v Ukraini [Analysis of information support in the conditions of formation of the mass land valuation system in Ukraine]. *ISTCGCAP*, vol. 99, pp. 38-45. <https://doi.org/10.23939/istcgcap2024.99.038>.
6. Bavorovska, N. M. (2022). Rol mistobudivnoi dokumentatsii v prostorovomu rozvytku terytorialnykh hromad [The role of urban planning documentation in the spatial development of territorial communities]. *Suchasni tendentsii rozvytku heodezii, zemleustroi ta pryrodokorystuvannia: Mizhnarodna naukovo-praktychna konferentsiia*, pp. 65-67. Available at: https://osau.edu.ua/wp-content/uploads/2022/07/ZBIRNYK_TEZ_ODAU_15_07_22.pdf.
7. Ma, Y., Lyu, D., Sun, K., et al. (2022). Spatiotemporal analysis and war impact assessment of agricultural land in Ukraine using RS and GIS technology. *Land*, vol. 11, no. 10, 1810. <https://doi.org/10.3390/land11101810>.
8. Purcell, W., & Neubauer, T. (2023). Digital twins in agriculture: A state-of-the-art review. *Smart Agricultural Technology*, no. 3, 100094. <https://doi.org/10.1016/j.atech.2022.100094>.
9. Syngenta Group. (2025). *Syngenta Group reports Q3 2025 results*. Available at: <https://www.syngentagroup.com/newsroom/2025/syngenta-group-reports-q3-2025-results>.
10. Awais, M., Wang, X., Hussain, S., et al. (2025). Advancing precision agriculture through digital twins and smart farming technologies: A review. *AgriEngineering*, vol. 7, no. 5, 137. <https://doi.org/10.3390/agriengineering7050137>.
11. Mapline. (2025). *Best GIS software for 2025: Compare top platforms for mapping & geospatial analysis*. Available at: <https://mapline.com/best-gis-software-for-2025-compare-top-platforms-for-mapping-geospatial-analysis/>.
12. Cabinet of Ministers of Ukraine. (2024). *Pro zatverdzhennia Porядku provedennia monitoryngu zemel i ґruntiv* [On approval of the Procedure for monitoring lands and soils]: Resolution dated July 23, 2024, No. 848. Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/848-2024-%D0%BF#Text>.
13. Syngenta. (2025). *Data is revolutionizing agriculture by enabling better decisions*. Available at: <https://www.syngenta.com/media/media-releases/2025/data-revolutionizing-agriculture-enabling-better-decisions>.
14. Melnyk, B. (2025). *Ekonomichni perevahy tsyfrovoyi transformatsii ahrarnoho sektoru: analiz instrumentiv i praktyk* [Economic benefits of digital transformation of the agricultural sector: analysis of tools and practices]. *Ekonomika ta Suspilstvo*, no. 78. <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2025-78-99>.

Abstract.

Tomakh V., Pryimak D. *GIS Technologies and electronic field passports in the land use control system: digital twin creation and real-time asset management.*

The article examines the fundamental transformation of the land-use control system in light of the Agriculture 4.0 concept. The author analyzes the mechanisms of integrating Geographic Information Systems (GIS) and Digital Twin technologies as a foundation for transitioning from descriptive agricultural asset management models to predictive and autonomous control systems. The research aims to substantiate the theoretical and methodological grounds for creating digital twins of fields and to evaluate the effectiveness of electronic land certification in ensuring land-use transparency and enhancing the

operational efficiency of agricultural enterprises amidst the current challenges of 2024–2025. The theoretical framework of the study is based on C. Verdouw's concepts regarding digital twin architecture and IoT-A standards. The research utilizes a systematic analysis of the GIS solutions market (specifically ArcGIS and SuperMap), remote sensing (RS) tools with the application of spectral indices (NDVI, NDMI, EVI), and machine learning algorithms (Random Forest, Savitzky-Golay filtering) to process vegetation time-series data. Four levels of digital twin integration are identified: from static models to autonomous AI-driven systems. It has been proven that electronic field certification, integrated into the state monitoring system pursuant to CMU Resolution No. 848 (2024), ensures the legal and agrochemical transparency of the land bank. The study analyzes the successful implementation of data-driven management by leading Ukrainian companies (NIBULON, Astarta), which achieved resource savings (fertilizers, fuel) of 15–30%. Attention is paid to the specific use of GIS for humanitarian demining and the restoration of war-damaged lands. The study concludes that digital twins transform land from a passive resource into an intelligent asset. The industry's development prospects are linked to the transition to Agriculture 5.0, in which autonomous management and carbon-monitoring systems will become integral to electronic field passports, ensuring sustainable development in line with European environmental standards.

Keywords: GIS technologies, digital twins, electronic field certification, Agriculture 4.0, land-use control, remote sensing, predictive analytics, GeoAI, spectral indices, agricultural assets.

Стаття надійшла до редакції / Received 02.11.2025

Прийнята до друку / Accepted 12.11.2025

Бібліографічний опис статті:

Томах В. Ю., Приймак Д. П. ГІС-технології та електронна паспортизація полів у системі контролю землекористування: створення цифрових двійників та оперативне управління активами. Актуальні проблеми інноваційної економіки та права. 2025. № 6. С. 154-157.

Tomakh V., Pryimak D. GIS Technologies and electronic field passports in the land use control system: digital twin creation and real-time asset management. Actual problems of innovative economy and law. 2025. No. 6, pp. 154-157.

УДК: 338.45:502; JEL classification: Q55, O31, K32, L51

DOI: <https://doi.org/10.36887/2524-0455-2025-6-35>

ШИ Сяосі, аспірант кафедри економіки підприємства та організації бізнесу, Харківський національний економічний університет імені Семена Кузнеця, <https://orcid.org/0009-0006-6982-3381>

НОРМАТИВНО-ПРАВОВЕ ПІДґРУНТЯ ВПРОВАДЖЕННЯ ЕКОЛОГІЧНИХ ІННОВАЦІЙ В ДІЯЛЬНІСТЬ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ

Ши С. Нормативно-правове підґрунтя впровадження екологічних інновацій в діяльність промислових підприємств.

Статтю присвячено питанням нормативно-правового забезпечення впровадження екологічних інновацій у діяльність промислових підприємств в умовах сучасних глобальних екологічних викликів та трансформації економічних систем. Актуальність теми дослідження зумовлена посиленням негативного впливу промислового виробництва на навколишнє природне середовище, необхідністю досягнення цілей сталого розвитку, адаптацією національного законодавства до вимог Європейського Союзу, а також потребою формування ефективного інституційного середовища для екологізації промисловості в умовах післявоєнного відновлення України. Дослідження має на меті систематизувати та комплексно проаналізувати нормативно-правове забезпечення впровадження екологічних інновацій у діяльність промислових підприємств. В статті розглянуто сучасні підходи до екологічної модернізації промислового сектору, визначено ключові передумови та чинники екологізації виробництва, а також проаналізовано особливості впливу економічних, регуляторних, ринкових та соціально-екологічних факторів на підприємства різних розмірів. Систематизовано основні міжнародні та національні нормативно-правові акти, що регулюють процес впровадження екологічних інновацій, зокрема Угоди про асоціацію між Україною та ЄС, директив ЄС у сфері промислових викидів та поводження з відходами, Регламенту REACH, системи екологічного менеджменту EMAS, а також національних стратегічних документів у сфері екологічної політики. Обґрунтовано необхідність гармонізації українського законодавства з європейськими стандартами як ключової передумови підвищення екологічної ефективності промисловості та інтеграції у міжнародні ринки. Наведено характеристику основних етапів впровадження екологічних інновацій на підприємствах, що включають оцінку екологічного стану, формування екологічної стратегії, впровадження найкращих доступних технологій, створення систем екологічного управління, реалізацію заходів екологічної модернізації, забезпечення інформаційної прозорості та проведення екологічного аудиту. Виявлено, що ефективність впровадження екологічних інновацій значною мірою залежить від доступу підприємств до фінансових ресурсів, рівня інституційної підтримки та здатності адаптуватися до регуляторних вимог. Виявлено, що існуюча нормативно-правова база формує необхідні передумови для екологізації промислового сектору, проте потребує подальшого вдосконалення в частині практичних механізмів реалізації, стимулювання інноваційної активності та підтримки малих і середніх підприємств.

Ключові слова: екологічні інновації, нормативно-правове забезпечення, промислові підприємства, сталий розвиток, екологічна модернізація, державне регулювання.

Постановка проблеми у загальному вигляді. У сучасних умовах глобальних екологічних викликів, посилення кліматичних змін та зростання антропогенного навантаження на довкілля промисловий сектор опинився перед необхідністю докорінної трансформації моделей функціонування. Традиційні підходи до виробництва, що базуються на ресурсомістких і екологічно небезпечних технологіях, втрачають свою ефективність і не відповідають вимогам сталого розвитку. Водночас впровадження екологічних інновацій стримується низкою бар'єрів, серед яких недостатній рівень інституційного забезпечення, обмежений доступ до фінансових ресурсів, складність адаптації до міжнародних екологічних стандартів та фрагментарність нормативно-правової бази. Тож, актуальність дослідження зумовлена необхідністю системного аналізу нормативно-правового підґрунтя впровадження екологічних інновацій у діяльність промислових підприємств України в умовах євроінтеграції та післявоєнного відновлення. Особливої ваги набувають питання гармонізації національного законодавства із вимогами Європейського Союзу, формування ефективних механізмів державного стимулювання екологічної модернізації та забезпечення конкурентоспроможності підприємств на міжнародних ринках. Враховуючи значну роль промисловості у формуванні економічного потенціалу

країни, вирішення зазначених проблем є ключовою передумовою переходу до інноваційно орієнтованої та екологічно безпечної моделі розвитку.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У літературі питання нормативно-правового забезпечення впровадження екологічних інновацій у діяльність підприємств розглядається у контексті стратегічного управління, корпоративної соціальної відповідальності та сталого розвитку. Зокрема, Ковтуненко К. В., Пар'єва О. О. [1] акцентують увагу на ролі стратегічного управління інноваційним розвитком підприємств, визначаючи його як ключовий інструмент адаптації до змін зовнішнього середовища. Автори підкреслюють, що формування ефективних інноваційних стратегій є передумовою інтеграції екологічних аспектів у загальну систему управління підприємством, що створює підґрунтя для впровадження екологічних інновацій у межах діючого нормативно-правового поля.

Лопушняк Г. С., Давидова Д. Ю. [2] досліджують проблеми дотримання екологічної складової корпоративної соціальної відповідальності вітчизняними підприємствами. У своїх працях автори наголошують на недостатньому рівні імплементації екологічних стандартів та слабкій ефективності механізмів державного регулювання, що ускладнює реалізацію екологічних ініціатив. Водночас вони підкреслюють важливість