

УДК 631.95:004.9

DOI <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2025.144.21>

ЦИФРОВІ ТЕХНОЛОГІЇ У МОНІТОРИНГУ ШКІДНИКІВ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР: СУЧАСНІ ПІДХОДИ ТА ЕФЕКТИВНІСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ

Писаренко В.М. – д.с.-г.н., професор,
завідувач кафедри захисту рослин,
Полтавський державний аграрний університет
orcid.org/0000-0002-0184-3929

Шерешило Б.О. – аспірант кафедри захисту рослин,
Полтавський державний аграрний університет
orcid.org/0009-0008-3433-8890

У статті висвітлено проблеми моніторингу шкідників сільськогосподарських культур в умовах трансформації аграрного виробництва та зростання біотичних загроз. Зазначено, що традиційні методи обліку часто є недостатньо точними, затратними та повільними для інтенсивного землеробства. У цьому контексті зростає значення цифрових технологій, що забезпечують оперативність, просторову точність і глибину аналізу у фітосанітарному моніторингу. Метою дослідження є аналіз сучасних цифрових технологій моніторингу шкідників, оцінка їх ефективності та обґрунтування шляхів впровадження в аграрних підприємствах Лівобережної України.

У ході дослідження було здійснено всебічну систематизацію основних цифрових інструментів, які активно застосовуються у сучасному землеробстві для цілей моніторингу шкідників та оперативного реагування на біотичні загрози. Зокрема, охарактеризовано функціональні можливості таких технологічних рішень, як безпілотні літальні апарати (дрони), що забезпечують високу точність візуального зондування; супутникові знімки, які дозволяють здійснювати просторово-часовий аналіз стану посівів на великих площах; сенсорні системи, здатні відстежувати мікрокліматичні параметри; інтернет речей (IoT), що об'єднує всі пристрої в єдину інформаційну мережу; а також мобільні аналітичні платформи, які надають користувачеві візуалізовані дані в режимі реального часу.

У висновках дослідження обґрунтовано, що цифровий моніторинг повинен розглядатися як невід'ємна складова сучасної системи управління аграрним підприємством. Його інтеграція сприяє підвищенню продуктивності культур, оптимізації використання засобів захисту рослин, підвищенню екологічної відповідальності та довгостроковій стійкості агровиробництва.

Перспективи подальших досліджень пов'язані з розробкою адаптивних моделей цифрового моніторингу для малих і середніх господарств, удосконаленням алгоритмів прогнозування із застосуванням ШІ, вивченням бар'єрів впровадження технологій у сільській місцевості та формуванням нормативно-освітніх умов для ширшого використання агротехнологій в Україні.

Ключові слова: цифрові технології, моніторинг шкідників, точне землеробство, дрони, супутникові знімки, сенсори, IoT, агротехнології, фітосанітарний контроль, аграрний менеджмент.

Pysarenko V.M., Shereshylo B.O. Digital technologies in pest monitoring of agricultural crops: modern approaches and application efficiency

The article explores the pressing issues of pest monitoring in agricultural crops under the conditions of transforming agricultural production and growing biotic threats. It is established that traditional pest accounting methods, despite their prevalence, are often insufficiently accurate, resource-intensive, and slow in the context of intensive farming. In this regard, special attention is given to the application of digital technologies, which ensure a high level of responsiveness, spatial accuracy, and analytical depth in the process of phytosanitary monitoring. The purpose of the study is to analyze modern digital technologies for pest monitoring, assess their effectiveness based on key criteria, and justify directions for their implementation in agricultural enterprises in the Left Bank region of Ukraine.

The research involved comprehensive systematization of the main digital tools actively used in

modern crop production for pest monitoring and prompt response to biotic threats. In particular, the study outlines the functional capabilities of technological solutions such as unmanned aerial vehicles (drones), which provide high precision in visual sensing; satellite imagery, which allows spatio-temporal analysis of crop conditions across large areas; sensor systems capable of tracking microclimatic parameters; the Internet of Things (IoT), which connects all devices into a unified information network; and mobile analytical platforms that deliver visualized data in real time.

A comparative analysis of digital technologies and traditional monitoring methods revealed significant advantages of the latest approaches in terms of scalability, process automation, independence from human factors, and integration capabilities with other management systems of agricultural enterprises. The study concludes that digital monitoring should be regarded as an integral part of modern agricultural enterprise management. Its integration contributes to increased crop productivity, optimized use of plant protection products, enhanced environmental responsibility, and long-term sustainability of agricultural production.

Future research directions focus on developing adaptive models of digital monitoring for small and medium-sized farms; improving forecasting algorithms using artificial intelligence; evaluating socio-economic barriers to technology implementation in rural areas; and creating regulatory and educational prerequisites for the large-scale dissemination of agrotechnologies in Ukraine.

Key words: digital technologies, pest monitoring, precision farming, drones, satellite imagery, sensors, IoT, agrotechnologies, phytosanitary control, agricultural management.

Актуальність теми дослідження. У сучасних умовах глобальних кліматичних змін, зростання інтенсивності землеробства та посилення фітосанітарних ризиків особливої уваги потребує впровадження інноваційних підходів до моніторингу шкідників сільськогосподарських культур. Традиційні методи, засновані на візуальних обстеженнях та періодичному відборі проб, часто не забезпечують достатньої точності, оперативності та територіального охоплення. Натомість цифрові технології – зокрема дрони, супутникові знімки, сенсорні системи та платформи аналітики – відкривають нові можливості для своєчасного виявлення загроз, прогнозування їх динаміки та прийняття обґрунтованих управлінських рішень. Це особливо актуально для культур стратегічного значення, таких як соняшник, вирощування якого поширене в регіонах Лівобережної України.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У науковій літературі активно розглядаються питання фітосанітарного моніторингу в контексті забезпечення продовольчої безпеки та мінімізації економічних втрат у рослинництві. Дослідники зосереджуються як на вивченні біоекологічних особливостей основних шкідників, так і на розробці алгоритмів автоматизованого виявлення та прогнозування їх поширення. Зокрема, у працях вітчизняних і зарубіжних вчених висвітлено можливості застосування геоінформаційних систем (GIS), машинного навчання та супутникових технологій для просторового аналізу біотичних загроз. Водночас недостатньо систематизовані знання щодо ефективності практичного впровадження цифрових рішень у вітчизняному аграрному секторі, що зумовлює потребу в поглибленому дослідженні цієї проблематики.

Aziz D., Rafiq S., Saini P., Ahad I., Gonal B., Rehman S.A., Rashid S., Saini P., Rohela G.K., Aalum K., Singh G., Gnanesh B.N. і Nabila Iliya M. дослідили потенціал використання штучного інтелекту та дистанційного зондування для моніторингу сільськогосподарства в умовах глобальних викликів. Узагальнено переваги таких технологій для раннього виявлення шкідників, точного прогнозування їх спалахів та зниження екологічного навантаження через оптимізацію захисних заходів.

Ahmed S., Marwat S.N.K., Brahim G.B. [2] присвятили дослідження розробці IoT-платформи для виявлення шкідників на основі смарт-пастки та глибинного навчання в умовах реального польового середовища. Встановлено, що запропонована система забезпечує високу точність класифікації фруктових мух і перевершує інші моделі за ключовими показниками ефективності.

Ouma G. O., Okanda P., Awuor F. M., Makiya C. R. [3] дослідили умови ефективного впровадження цифрових рішень для масштабного моніторингу шкідників і хвороб сільськогосподарських культур. Узагальнено перспективи використання смартфонів та краудсорсингових підходів, а також визначено фактори, що впливають на прийняття технологій у країнах, що розвиваються.

Kreuze J., Thiele G., Friedmann M., Campos H., Polar V., Bentley J. W. [4] узагальнили доступні цифрові інструменти для ідентифікації, моніторингу та контролю шкідників, зокрема у вирощуванні коренеплодів, бульб та бананів. Досліджено потенціал застосування штучного інтелекту, мобільних додатків та дронів, а також окреслено виклики поширення цифрових рішень серед малих фермерів і роль державної підтримки.

Karim Ennouri, Mohamed Ali Triki, Abdelaziz Kallel [5] присвятили дослідження використанню технологій дистанційного зондування як основи для точного виявлення рослинного стресу, ознак хвороб і стану рослин. Встановлено, що гіперспектральна зйомка та аналіз відбиття світла від листя є ефективними інструментами для моніторингу шкідників і прийняття рішень у межах прецизійного землеробства.

Burdiak M., Tomashuk I. [6] присвятили статтю теоретичному обґрунтуванню цифровізації аграрного сектору як ключового чинника підвищення ефективності агропромисловості. Встановлено, що формування єдиної цифрової моделі аграрного підприємства сприяє оптимізації управління, зниженню витрат і підвищенню конкурентоспроможності в умовах просторової неоднорідності полів.

Огляд проаналізованих публікацій засвідчив зростаючу увагу науковців до застосування цифрових технологій у сфері моніторингу шкідників сільськогосподарських культур. Автори досліджень акцентують на перевагах використання штучного інтелекту, IoT, дистанційного зондування та мобільних додатків для підвищення точності виявлення загроз і зменшення екологічного навантаження.

Незважаючи на значну кількість праць, наше дослідження спрямоване на систематизацію підходів до впровадження цифрових інструментів моніторингу шкідників в аграрних умовах Лівобережної України, з акцентом на практичну ефективність, доступність технологій та адаптацію до регіональних особливостей агропромисловості.

Постановка завдання. Мета дослідження – проаналізувати сучасні цифрові технології моніторингу шкідників сільськогосподарських культур, оцінити їх ефективність у забезпеченні своєчасного виявлення біотичних загроз та обґрунтувати напрями їх практичного впровадження в аграрних підприємствах Лівобережної України.

Методологічною основою дослідження є системний підхід до аналізу цифрових технологій у сфері моніторингу шкідників сільськогосподарських культур. У процесі роботи використано комплекс загальнонаукових методів: аналіз і синтез – для узагальнення сучасних підходів до боротьби зі шкідниками та виділення переваг цифрових рішень; порівняльний аналіз – для оцінки ефективності традиційних і цифрових методів моніторингу за ключовими критеріями (точність, швидкість реагування, економічність); метод експертних оцінок і кейс-аналізу – для аналізу прикладів впровадження цифрових інструментів в Україні та за кордоном.

Інформаційною базою дослідження стали наукові публікації, аналітичні звіти, дані офіційних сайтів розробників аграрних цифрових платформ (DJI, OneSoil, EOSDA, Trarview), а також матеріали міжнародних досліджень у галузі точного землеробства, дистанційного зондування та біобезпеки. Окрему увагу приділено

аналізу відкритих джерел, які містять оцінки практичного застосування цифрового моніторингу в аграрних господарствах різного масштабу.

Виклад основного матеріалу дослідження. Одним із ключових викликів аграрного виробництва залишається вплив шкідників, які здатні не лише суттєво знижувати врожайність сільськогосподарських культур, а й погіршувати якість продукції. В умовах зростаючого глобального попиту на продовольство ефективна боротьба з біотичними загрозами набуває стратегічного значення для забезпечення продовольчої безпеки та стабільного розвитку аграрного сектору.

Боротьба зі шкідниками сільськогосподарських культур – це складний і багатфакторний процес, що вимагає постійного моніторингу, оцінки ризиків, а також застосування інтегрованих підходів до захисту. Для ефективного контролю критично важливим є не лише вчасне виявлення загроз, а й правильна ідентифікація видів шкідників, особливостей їх біології та шляхів поширення.

Серед основних шкідників у польових умовах найпоширенішими є:

- комахи, зокрема мідниця кукурудзяна (*Zyginidia scutellaris*), блощиця соняшникова (*Eurygaster integriceps*), метелики-совки, попелиці;
- гризуни, зокрема польова миша, сірий пацюк, які пошкоджують кореневу систему та насіння;
- фітопатогени, зокрема фітофтора та мілдью, що уражують листя, стебла та кореневища рослин, спричиняючи захворювання й загибель культур.

Традиційно в аграрній практиці застосовуються класичні методи обліку чисельності та контролю шкідників, які включають:

- візуальні спостереження за станом рослин та проявами пошкоджень;
- використання світлових, феромонних і клейових пасток;
- вибіркове вилучення шкідників із ґрунту або рослинної маси;
- біологічний моніторинг за допомогою ентомологічних сіток або ґрунтових пробовідбірників.

Ключовим елементом при прийнятті рішень щодо доцільності втручання є розрахунок економічного порогу шкодочинності (ЕПШ) – критичної межі чисельності, після якої заподіяна шкода перевищує витрати на проведення захисних заходів. Попри свою практичність, такі методи потребують значних трудових ресурсів, залежать від погодних умов, суб'єктивності оцінки та не завжди дозволяють вчасно зреагувати на загрозу.

У зв'язку з обмеженнями класичних методів моніторингу шкідників, аграрна галузь дедалі активніше звертається до інноваційних цифрових рішень, які забезпечують більшу точність, оперативність та масштабованість. Застосування сучасних технологій у сільському господарстві сприяє переходу від реактивного до проактивного управління ризиками та формує нову парадигму – розумне (smart) землеробство.

У науковій та практичній площині все частіше використовуються поняття AgTech (agricultural technology) та прецизійного моніторингу, що передбачають систематичне збирання, обробку й аналіз даних про стан рослин, ґрунтів, мікроклімату і шкідників за допомогою цифрових інструментів. Такий підхід дозволяє не лише своєчасно виявляти загрози, а й прогнозувати їх динаміку та оцінювати ефективність вжитих заходів.

Розглянемо ключові інструменти цифрового моніторингу шкідників:

- безпілотні літальні апарати (БПЛА, дрони). Дрони з мультиспектральними або гіперспектральними камерами дозволяють здійснювати моніторинг стану посівів із високою просторовою та спектральною роздільною здатністю. Вони

можуть виявляти аномалії у кольорі, структурі чи текстурі рослин, які сигналізують про появу шкідників чи хвороб до появи видимих симптомів. Наприклад, дрони DJI Agras, оснащені програмами для побудови NDVI-карт (Normalized Difference Vegetation Index), дозволяють швидко оцінити вегетаційний стан культур і локалізувати проблемні зони з подальшим точковим втручанням [11, 13];

- супутникові знімки. Дані супутників, таких як Sentinel-2 (ESA) або Landsat (NASA), дають змогу здійснювати моніторинг великих площ з періодичністю у кілька днів. Аналіз NDVI-індексів, температури поверхні та вологості дозволяє ідентифікувати осередки пригнічення рослин, які можуть бути викликані дією шкідників. Наприклад, при зменшенні вегетаційного індексу в окремих ділянках поля аналітична система сигналізує про необхідність наземної перевірки [7-18];

- сенсори агроєкологічного моніторингу. Стаціонарні та мобільні сенсори встановлюються безпосередньо в ґрунті або на рослинах для вимірювання мікрокліматичних показників: температури, вологості, освітлення, вмісту CO₂, швидкості вітру. Спеціалізовані феромонні пастки з вбудованими фотосенсорами автоматично фіксують появу комах, передають зображення на сервер і здійснюють автоматизовану ідентифікацію за допомогою нейронних мереж. Наприклад, система TrapView здатна автоматично рахувати шкідників у пастці та надсилати повідомлення аграрію про перевищення порогів шкодочинності [7-18];

- IoT-пристрої (Інтернет речей). Цифрові агро-IoT-мережі дозволяють об'єднати в єдину систему дані з дронів, сенсорів, супутників та аналітичних платформ. Такі рішення, як AgriTech IoT Hub, забезпечують централізований збір, аналіз та збереження даних у хмарі з можливістю інтеграції зі смартфоном або ПК. Це дозволяє отримувати попередження про появу шкідників, зміну умов середовища, прогноз погоди, вологість ґрунту тощо – в режимі реального часу [9, 14, 15];

- мобільні додатки та цифрові платформи. Ці інструменти слугують інтерфейсом між польовими пристроями та кінцевим користувачем – аграрієм, агрономом або менеджером господарства. Наприклад, застосунок OneSoil надає можливість переглядати карту вегетації, бачити аномальні ділянки, отримувати поради щодо захисту рослин. Платформа EOS Crop Monitoring дозволяє будувати історію поля, аналізувати дані за роки, завантажувати знімки, планувати роботи й автоматично отримувати попередження про ризики [9, 10, 12, 13].

Ці технології не лише покращують якість прийняття рішень, а й дозволяють значно зменшити витрати на обробіток полів, уникнути надмірного використання хімікатів і вчасно реагувати на загрози, що особливо важливо в умовах кліматичної нестабільності та обмежених ресурсів.

На практиці такі технології успішно впроваджуються як у розвинених країнах (США, Ізраїль, Нідерланди), так і в Україні. Наприклад, дрони DJI Agras, платформи OneSoil, Agrohubs, EOS Crop Monitoring, а також розробки українських агростартапів дозволяють фермерам здійснювати оперативну оцінку стану посівів, контролювати появу шкідників, планувати точкове внесення засобів захисту рослин та підвищувати ефективність витрат.

Таким чином, цифровізація аграрного виробництва стає не лише трендом, а й необхідністю в умовах нестабільного клімату, браку трудових ресурсів та зростаючої потреби в точному управлінні біотичними ризиками [7-18].

Активне впровадження цифрових інструментів у сфері агровиробництва вимагає не лише технічного забезпечення, а й науково обґрунтованого підходу до оцінки їх ефективності. Щоб зрозуміти доцільність використання тих чи інших технологій, необхідно враховувати низку критеріїв, що відображають їхню прикладну цінність у контексті моніторингу шкідників [19].

Основні критерії оцінювання включають:

– економічна доцільність – аналіз співвідношення витрат на придбання, налаштування та обслуговування системи з потенційними вигодами, зокрема зниженням втрат урожаю, скороченням обсягів використання зр, зменшенням трудозатрат;

– точність виявлення – здатність системи ідентифікувати тип шкідника, його щільність та місце розташування з мінімальною похибкою;

– швидкість реагування – затримка між моментом виявлення шкідника та отриманням сигналу (аналітичного або візуального), який дозволяє прийняти управлінське рішення.

Для кількісної оцінки ефективності можуть застосовуватися такі показники, як Mean Average Precision (mAP), Recall, F1-score, специфічність, економія ресурсів (%) тощо.

У таблиці 1 наведено порівняння основних характеристик традиційних та цифрових методів моніторингу.

Таблиця 1

Порівняння основних характеристик традиційних та цифрових методів моніторингу*

Ознака / Показник	Традиційні методи	Цифрові технології
Точність	Залежить від людського фактора	Висока, автоматизована і статистично обґрунтована
Територіальне охоплення	Обмежене (вибіркові ділянки)	Повне охоплення площі (дрон, супутник)
Швидкість реагування	Низька, залежить від графіка обходів	Висока, у режимі реального часу
Вартість у короткостроковій перспективі	Низька	Відносно висока
Вартість у довгостроковій перспективі	Зростаюча (робоча сила, похибки)	Знижувана за рахунок автоматизації
Інтеграція з іншими даними	Обмежена	Повна (метео, ґрунт, історія полів тощо)

*узагальнено на підставі [1-20]

У рамках оцінки ефективності цифрових технологій у захисті сільськогосподарських культур ключову роль відіграє побудова моделей моніторингу, що забезпечують не лише фіксацію поточного стану агроєкосистем, а й прогнозування потенційних біотичних загроз. Залежно від цілей та джерел даних, такі моделі поділяються на описові (які відображають наявну ситуацію) та прогностичні (які дають змогу передбачити подальший розвиток подій). Найбільш поширені серед них:

– NDVI-картографування (Normalized Difference Vegetation Index): застосовується для дистанційної діагностики стану рослинності за допомогою супутникових або дронів знімків. Виявлення зон зниженого NDVI дозволяє ідентифікувати потенційні ділянки ураження шкідниками, ще до появи візуально помітних симптомів;

– фенологічне моделювання: ґрунтується на аналізі агрокліматичних показників (температура, тривалість світлового дня тощо) для прогнозування фаз розвитку сільськогосподарських культур. Це дає змогу передбачити час появи найбільш уразливих стадій рослин і синхронізувати їх із календарем активності основних шкідників;

– геоінформаційні моделі (GIS): поєднують просторові дані з інформацією про біотичні чинники (популяції шкідників, історичні спалахи, шляхи міграції). Створення ризикових зон на основі таких моделей сприяє прийняттю обґрунтованих рішень щодо розміщення пасок, вибору способів обробки або зонування полів за рівнем фітосанітарної небезпеки;

– моделі на основі штучного інтелекту, зокрема нейронні мережі: використовуються для автоматичної класифікації зображень, отриманих із феромонних пасок, камер спостереження чи дронів. Завдяки машинному навчанню ці системи здатні розпізнавати окремі види шкідників, визначати їхню чисельність і навіть оцінювати рівень пошкодження культур у реальному часі.

Такі моделі дозволяють не лише здійснювати оперативне реагування, а й вибудовувати стратегії профілактики, мінімізуючи ризики на ранніх етапах.

Інтеграція цифрового моніторингу шкідників у загальну систему управління аграрним підприємством відкриває нові можливості для формування адаптивної, прогнозованої та ефективної стратегії захисту рослин. Такі рішення дозволяють забезпечити своєчасне прийняття рішень, автоматизувати облік біотичних загроз та оптимізувати використання ресурсів. Перспективи масштабування подібних технологій пов'язані з розвитком інфраструктури сільських територій, зниженням вартості обладнання та розширенням освітніх ініціатив, що сприятимуть поширенню цифрових рішень серед широкого кола агровиробників.

Висновки та пропозиції. У ході дослідження встановлено, що цифрові технології відіграють ключову роль у трансформації підходів до моніторингу шкідників у сільському господарстві. На відміну від традиційних методів, цифрові інструменти забезпечують високу точність виявлення, оперативне реагування, широке територіальне охоплення та інтеграцію з іншими аналітичними системами.

Показано, що використання дронів, супутникових знімків, сенсорів, IoT-рішень та мобільних платформ дозволяє агровиробникам не лише зменшувати ризики втрат урожаю, але й оптимізувати витрати на захист рослин. Обґрунтовано доцільність побудови моделей моніторингу, заснованих на NDVI-аналізі, GIS-технологіях та штучному інтелекті, що підвищує ефективність управлінських рішень у реальному часі.

Перспективи подальших досліджень пов'язані з адаптацією цифрових технологій моніторингу до умов малих та середніх господарств, а також з удосконаленням алгоритмів прогнозування на основі штучного інтелекту. Особливо актуальним є вивчення економічної ефективності таких рішень у різних агрокліматичних зонах та оцінка їх екологічного впливу через зменшення використання хімічних засобів захисту рослин.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Aziz D., Rafiq S., Saini P., Ahad I., Gonal B., Rehman S. A., Rashid S., Saini P., Rohela G. K., Aalum K., Singh G., Gnanesh B. N., Nabila Iliya M. Remote sensing and artificial intelligence: revolutionizing pest management in agriculture. *Frontiers in Sustainable Food Systems*. 2025. Vol. 9. DOI: <https://doi.org/10.3389/fsufs.2025.1551460>.
2. Ahmed S., Marwat S. N. K., Brahim G. B., et al. IoT based intelligent pest management system for precision agriculture. *Scientific Reports*. 2024. Vol. 14. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-024-83012-3>.
3. Ouma G. O., Okanda P., Awuor F. M., Makiya C. R. Adopting digital solutions for large scale surveillance of crop pests and diseases in developing countries-A review. *Modern Sciences Journal*. 2023. Vol. 12, №. 2. DOI: <https://doi.org/10.57184/msj.v12i2.37>.

4. Kreuze J., Thiele G., Friedmann M., Campos H., Polar V., Bentley J. W. Innovative digital technologies to monitor and control pest and disease threats in root, tuber, and banana (RT&B) cropping systems: progress and prospects. In: Thiele G., Friedmann M., Campos H., Polar V., Bentley J. W. (eds.) *Root, Tuber and Banana Food System Innovations*. Cham: Springer, 2022. P. 237–256. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-92022-7_9.
5. Ennouri K., Triki M. A., Kallel A. Applications of remote sensing in pest monitoring and crop management. *Bioeconomy for Sustainable Development*. 2020. P. 65–77. DOI: https://doi.org/10.1007/978-981-13-9431-7_5.
6. Burdiak M., Tomashuk I. General aspects of the application of digital technologies in the activities of agricultural enterprises. *Change Management and Innovation*. 2023. № 7. P. 12–18. DOI: <https://doi.org/10.32782/CMI/2023-7-2>.
7. DJI Drones: Revolutionizing Crop Monitoring and Management. URL: <https://tjaerosense.com/blogs/news/dji-drones-revolutionizing-crop-monitoring-and-management> (дата звернення: 01.06.2025).
8. From predicting heatwaves to developing climate-resilient seeds: Here's how agritech can help farmers. URL: <https://www.weforum.org/stories/2024/04/how-ai-and-other-agritech-can-help-ensure-food-security/> (дата звернення: 01.06.2025).
9. How IoT is transforming AgriTech and smart farming. 19 квітня 2024 р. URL: <https://www.eseye.com/resources/blogs/how-iot-is-transforming-agritech-and-smart-farming/> (дата звернення: 01.06.2025).
10. OneSoil: a handy free fieldmap and scouting app. URL: <https://www.futurefarming.com/smart-farming/tools-data/onesoil-a-handy-free-fieldmap-and-scouting-app/> (дата звернення: 01.06.2025).
11. Li M., Shamshiri R. R., Weltzien C., Schirrmann M. Crop monitoring using Sentinel-2 and UAV multispectral imagery: A comparison case study in Northeastern Germany. *Remote Sensing*. 2022. Vol. 14, № 17. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs14174426>
12. Manage agricultural risks. Receive timely notifications URL: <https://eos.com/products/crop-monitoring/> (дата звернення: 01.06.2025).
13. Підвищуйте продуктивність полів за допомогою цифрового землеробства URL: <https://onesoil.ai/ua> (дата звернення: 01.06.2025).
14. Lowry M. IoT in agriculture: How technology is transforming farming practices. *Digital Farming*. URL: <https://www.globalagtechinitiative.com/digital-farming/iot-in-agriculture-how-technology-is-transforming-farming-practices/> (дата звернення: 01.06.2025).
15. Wozniak E. How IoT and Agri-Tech are upgrading modern farming URL: <https://www.iotforall.com/iot-smart-farming-agritech> (дата звернення: 01.06.2025).
16. Islam A. T., Islam A. K. M. S., Islam G. M. T., et al. Monitoring wheat area using sentinel-2 imagery and in-situ spectroradiometer data in heterogeneous field conditions. *Discover Agriculture*. 2024. Vol. 2. DOI: <https://doi.org/10.1007/s44279-024-00069-4>
17. Сучасні підходи до боротьби зі шкідниками сільськогосподарських культур. URL: <https://adam.ua/blog/suchasni-pidhodi-do-borotbi-zi-shkidnikami-silskogospodarskih-kultur/> (дата звернення: 01.06.2025).
18. Піщенко О. Стратегії цифрового аграрного сектору в умовах еколого-економічної безпеки. *Herald of Khmelnytskyi National University. Economic Sciences*. 2022. № 310(5(1)). С. 303–310. DOI: [https://doi.org/10.31891/2307-5740-2022-310-5\(1\)-50](https://doi.org/10.31891/2307-5740-2022-310-5(1)-50)
19. Моніторинг шкідників сільськогосподарських культур : підручник. Покозій Й. Т., Писаренко В. М., Довгань С. В. та ін. ; за ред. Й. Т. Покозія. К. : Аграрна освіта, 2010. 223 с.
20. Майстерня аграрія. URL: https://www.syngenta.ua/sites/g/files/kgtney1466/files/media/document/2024/11/20/ma_cmpr.pdf (дата звернення: 01.06.2025).