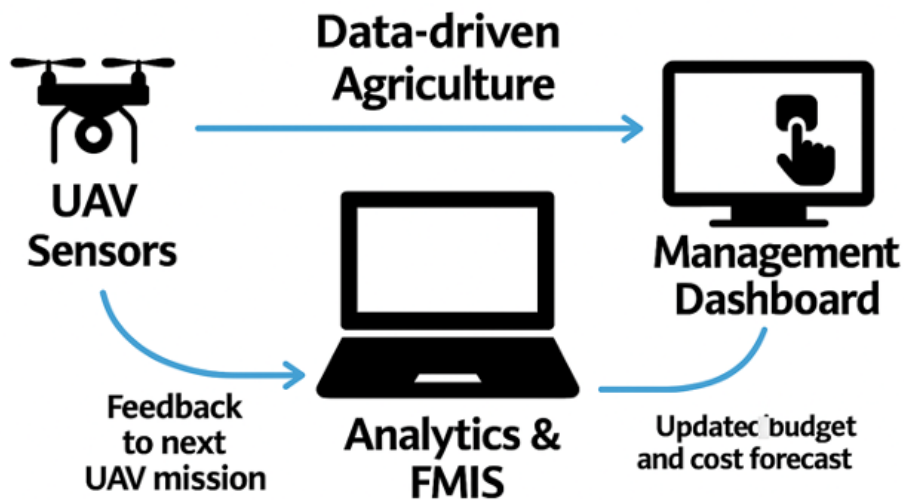


Програма з аграрного і сільського розвитку (АГРО)

Методичні рекомендації з агроскаутингу за допомогою безпілотних літальних апаратів (БПЛА)

Призначення: сприяння розвитку професії оператора дистанційно керованих безпілотних літальних апаратів в агропромисловому виробництві шляхом впровадження освітніх програм у закладах вищої освіти України з метою посилення якості послуг агроскаутингу.



Київ — 2025

Програма АГРО — це семирічний проєкт міжнародної технічної допомоги, метою якого є прискорення економічного розвитку сільських громад України, що потребують найбільшої підтримки, шляхом удосконалення управління в аграрному секторі. Програма фінансується Урядом США та впроваджується компанією Chemonics International.

Авторський колектив:**Биков Микола**

Короткостроковий консультант Програми з аграрного і сільського розвитку (АГРО)
Дорадник з агрономії (свідоцтво №26/2017/2). Національний експерт з ґрунтоощадного
землеробства ФАО (2021-23 рік) Дослідник з ґрунтозберігаючого землеробства, біологічних
захист рослин, регенеративне землеробство. e-mail: agro.bykov@gmail.com

Данкевич Андрій

д. е. н., професор кафедри економіки та права, Національний університет харчових технологій;
професор кафедри економічної безпеки, державного управління та адміністрування,
Державний університет «Житомирська політехніка»; e-mail: an.dankevich@gmail.com,
ORCID: 0000-0003-1801-7516

Коваленко Віталій

доктор с.-г. наук, професор, декан агробіологічного факультету Національний університет
біоресурсів і природокористування України e-mail: kovalenko_v@nubip.edu.ua

Оверченко Віталій

кандидат с.-г. наук, доцент кафедри землеробства та гербології Національний університет
біоресурсів і природокористування України
e-mail: v.overchenko@nubip.edu.ua

Косолап Микола

кандидат с.-г. наук, доцент кафедри землеробства та гербології НУБіП Національного
університету біоресурсів і природокористування України. Є автором та співавтором 252
наукових праць, з них – 6 навчальних посібників. Електронна пошта: n.kosolap@gmail.com

Горячев Павло

Магістр НТУУ "Київський політехнічний інститут", інженер-системотехнік за спеціальністю
"Комп'ютеризовані системи управління і автоматики", Інструктор: БПЛА Victory Drones, ГО
"Центр підтримки аеророзвідки"; НРК, Victory Robots, БО БФ "Дігнітас"; технічний
спеціаліст Школи НРК "KillHouse

Воронцов Віталій

магістр з агрономії, НУБіП України; магістр менеджменту з дорадництва, НУБіП України;
Дорадник з питань менеджменту сільськогосподарських підприємств та інвестиційного
консалтингу (свід.714 від 27.02.20 р.). Співавтор навчальних онлайн курсів для фермерів та
дорадників. Електронна пошта: vit.vorontsov@gmail.com

Координатор:**Олександр Приходько**

менеджер з розвитку аграрних ринків Програми з аграрного і сільського розвитку (АГРО) e-
mail: olprykhodko@chemonics.com

Консультант розділів:**Зозуля Олександр**

кандидат біологічних наук, керівником групи регіональних технічних експертів міжнародної
компанії «Сингента» e-mail: Alexandr.Zozulya@syngenta.com

Комп'ютерна верстка:**Печко Оксана**

Підготували розділи:

Вступ: Биков М. І., Косолап М.

Розділ: 1, 4, 5, 6, 7, 8 - Биков М.

Розділ: 2 - Биков М., Воронцов В.

Розділ: 3 - Биков М., Горячев П.

Розділ: 9 – Биков М., Косолап М.

Розділ: 10 - Данкевич А.

Розділ: 11 - Биков М., Коваленко В., Оверченко В.

Бібліографія:

Методичні рекомендації з агроскаутингу за допомогою безпілотних літальних апаратів (БПЛА) : Програма з аграрного і сільського розвитку (АГРО) / М. Биков, А. Данкевич, В. Коваленко, В. Оверченко, М. Косолап, П. Горячев, В. Воронцов, О. Приходько, О., Зозуля. — Київ : АГРО, 2025. — 69 с. Зареєстровано в Кабінеті Міністрів України за № 72012120СА00001.

ПЛАН

Вступ. Значення дистанційного моніторингу у сучасному рослинництві	5
Знайомить із поняттям дистанційного моніторингу, його місцем у сучасному агробізнесі та роллю у підвищенні ефективності виробництва.	
1. Основи електромагнітного випромінювання та спектральні характеристики рослин.....	7
Розкриває, чому й як рослини взаємодіють зі світлом різної довжини хвилі, принципи реєстрації спектральних відгуків.	
2. Вегетаційні індекси: NDVI та інші індекси стану рослин	12
Розгляд найпопулярніших індексів стану рослин (NDVI, GNDVI, EVI та ін.), формули, приклади застосування.	
3. Апаратно-програмні комплекси дистанційного моніторингу агроценозів.....	16
Огляд сучасних комплексів: супутники, дрони (БПЛА), наземні системи. Особливості, переваги й обмеження кожної.	
4. Типи сенсорів і камер. Порівняння RGB, мульти- та гіперспектральних камер	22
Пояснення, які бувають камери (RGB, мульти- і гіперспектральні), у яких випадках яку краще використовувати.	
5. Практичні аспекти застосування БПЛА та супутників	28
Покрокова інструкція з підготовки, зйомки, обробки даних із дронів і супутників.	
6. Обробка та інтерпретація даних.....	33
Методи сортування, фільтрації, класифікації даних; як перетворити "сирі" знімки на агрономічну інформацію.	
7. Штучний інтелект й машинне навчання	36
Використання сучасних алгоритмів для аналізу даних моніторингу, приклади агротехнологічних рішень.	
8. Тепловізійний моніторинг у агрономії.....	39
Огляд принципів і прикладів використання тепловізорів для оцінки стану ґрунту та рослин.	
9. Візуалізація результатів і прийняття рішень	44
Як оформити та подати результати; використання ГІС, картографування проблемних зон.	
10. Агроскаутинг в індикативному бюджетуванні: нові підходи до підвищення ефективності управління ресурсами підприємств	51
11. Сучасний менеджмент роботи польового агронома з використанням БПЛА	58
ВИСНОВОК	65
ДОДАТКОВІ ДЖЕРЕЛА	66
ДЖЕРЕЛА ДЛЯ САМООСВІТИ СТУДЕНТА	68

Вступ. Значення дистанційного моніторингу у сучасному рослинництві

У сучасному сільському господарстві моніторинг посівів та агроєкосистем є невід’ємною складовою успішного й ефективного землеробства.

Оперативне проведення моніторингу, або агроскаутингу, виступає ключовим елементом технологій точного землеробства, адже дає змогу своєчасно виявляти проблеми, прогнозувати врожайність та приймати обґрунтовані управлінські рішення.

Традиційні ручні методи обстеження полів, хоча й забезпечують безпосередній контакт з рослинами, часто виявляються недостатньо надійними та потребують значних витрат часу і трудових ресурсів. Крім того, вони охоплюють обмежену площу та залежать від людського фактора, що підвищує ризик помилок.

У зв’язку з цим дедалі ширше застосовуються технології дистанційного та цифрового моніторингу. Використання безпілотних літальних апаратів (дронів), супутникових знімків високої роздільної здатності, сенсорних систем і автоматизованих платформ збору даних дозволяє отримувати оперативну та об’єктивну інформацію про стан посівів на великих площах. Такі методи забезпечують:

- високу точність діагностики стану рослин і ґрунтів;
- можливість виявлення проблем на ранніх стадіях розвитку;
- оцінка урожайності та зонування по полю
- зонування полів для диференційованого внесення добрив і засобів захисту рослин;
- значну економію часу та ресурсів у порівнянні з традиційними підходами.

Таким чином, поєднання сучасних цифрових технологій з агрономічними знаннями дозволяє підвищити ефективність управління агровиробництвом, мінімізувати ризики та забезпечити сталий розвиток сільського господарства.

Дистанційний моніторинг у рослинництві — це систематичне спостереження за станом посівів, ґрунту та довкілля за допомогою спеціальних технологій і засобів, які не потребують фізичного контакту з об’єктом дослідження. Зазвичай це реалізується через супутникові платформи, безпілотники (дрони або БПЛА), наземні сенсори, різноманітні спектральні та тепловізійні камери, які збирають велику кількість цифрових даних.

Цифровий моніторинг рослин (агроскаутинг) — це сукупність технологічних рішень і методів, спрямованих на автоматизований збір, обробку, аналіз та візуалізацію інформації про стан рослин і полів, що забезпечує зручне та об’єктивне оцінювання їхнього розвитку й умов вирощування.

Це передбачає використання:

- сенсорів і камер для фіксації спектральних, просторових і теплових характеристик рослин,
- інструментів дистанційного зондування (Remote Sensing) для отримання багатоспектральних зображень,
- програмних рішень для інтерпретації великих масивів даних,
- систем штучного інтелекту й машинного навчання для автоматичного виявлення проблем, прогнозування врожайності, оцінки біомаси, контролю за шкідниками, хворобами чи нестачею елементів живлення.

Головна відмінність цифрового моніторингу — можливість отримати оперативну, кількісну, об'єктивну інформацію в реальному часі та швидко приймати рішення на її основі.

Використання цифрових рішень дозволяє:

- **Оперативність:** швидке виявлення стресів, шкідників, хвороб, дефіциту поживних речовин, не якісно виконану роботу.
- **Об'єктивність:** зменшення впливу на проведення агроскаутінгу людського фактору.
- **Масштабованість:** можливість здійснення контролю великих територій.
- **Точність:** завдяки поєднанню масштабування та високої роздільної здатності забезпечується отримання детальних і надійних даних для аналізу стану поля.
- **Прогнозування:** формування аналітичних моделей для підвищення врожайності та оптимізації витрат.

Сучасний цифровий моніторинг є основою точного землеробства, впровадження Smart Farming, підвищення ефективності агробізнесу та забезпечення сталого розвитку сільського господарства.

Дані аспекти висвітлені в багатьох працях зокрема «Сучасні методи цифрового моніторингу в рослинництві: Монографія / О. Л. Зозуля, В. В. Швартау, Л. М. Михальська, О.Л. Ковель, Г.М. Гнатієнко, В. Є. Снитюк, Н. П. Тменова. — К: Прінтстор Груп, 2025. - 396 с



Джерело фото:

<https://www.unmannedsystemstechnology.com/wp-content/uploads/2018/11/Delair-UX11-Ag-drone-e1541501749877.webp>



Джерело фото:

<https://www.unmannedsystemstechnology.com/2025/01/drone-nerds-expands-agricultural-drone-lineup-with-abz-innovation-partnership/>

1. Основи електромагнітного випромінювання та спектральні характеристики рослин

Сонце є головним джерелом енергії для всіх живих організмів на Землі, а для рослин — ще й рушійною силою фотосинтезу. Усе, що ми бачимо навколо — колір листя та квітів, блиск поверхонь, навіть температура ґрунту й рослинних тканин — є результатом взаємодії сонячного світла з різними об'єктами та матеріалами.

Кожен матеріал має власну «**спектральну підписку**» — характерний спосіб відбиття, поглинання або пропускання електромагнітних хвиль різної довжини. Для рослин цей спектральний відбиток є особливо інформативним, адже дозволяє оцінювати їхній фізіологічний стан, рівень стресу, вміст хлорофілу, водний баланс та навіть наявність хвороб.

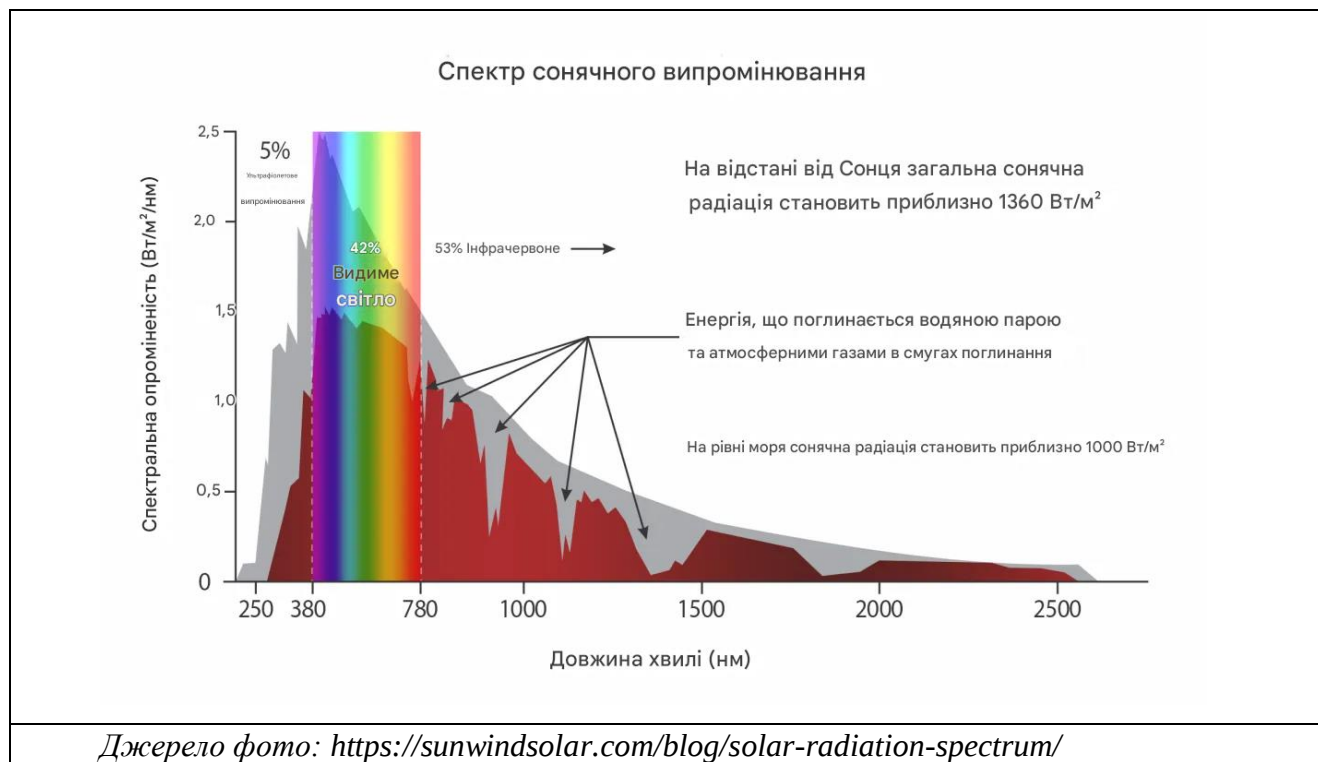
Сонячне світло — це суміш хвиль різної довжини, які умовно поділяють на кілька діапазонів:

- **Ультрафіолетове випромінювання (100–400 нм).** Переважно поглинається озоновим шаром атмосфери й у невеликих кількостях досягає поверхні Землі. Рослини майже не використовують його для фотосинтезу, однак воно може впливати на їхній розвиток, регулювати процеси цвітіння та синтезу захисних пігментів.
- **Видиме світло (400–700 нм).** Це ключовий спектральний діапазон для фотосинтезу. Світло у синій (близько 450 нм) та червоній (близько 680 нм) областях особливо ефективно поглинається пігментами, зокрема хлорофілом а та b, і використовується для утворення органічних речовин з вуглекислого газу та води.
- **Інфрачервоне випромінювання.**
 - *Ближнє інфрачервоне (700–2500 нм)* — не бере участі у фотосинтезі, але є важливим для дистанційного зондування, оскільки відбивається листками залежно від їхньої структури та вмісту вологи.
 - *Середнє інфрачервоне (2500–25000 нм)* — чутливе до змін у водному балансі та будові тканин, використовується для оцінки стану ґрунтів і рослин.
 - *Далеке інфрачервоне (25000–500000 нм)* — сприймається як теплове випромінювання, що дає змогу вимірювати температуру поверхні ґрунту та рослин, виявляти тепловий стрес і дефіцит води.

Сучасні системи дистанційного моніторингу, зокрема спектральні камери на дронах та супутниках, здатні фіксувати й аналізувати відбиття у цих діапазонах, створюючи **спектральні індекси** (наприклад, NDVI, NDRE, PRI), які дають кількісну оцінку стану рослин. Це відкриває можливість своєчасного виявлення проблем і оптимізації технологічних операцій у сільському господарстві.

«Спектр сонячного випромінювання, який досягає поверхні Землі, складається з ультрафіолетового (100–400 нм), видимого (380–760 нм) та інфрачервоного (понад 760 нм).»

[с. 23-24]



Сонячна енергія приблизно на 5% складається з ультрафіолетового випромінювання, 42% з видимого світла та 53% з ближнього інфрачервоного випромінювання.

Як було зазначено вище, **сонячне світло складається з різних діапазонів електромагнітного випромінювання**, і кожен з них взаємодіє з рослинами по-своєму. **Електромагнітне випромінювання** — це форма енергії, що розповсюджується у вигляді хвиль і охоплює широкий спектр — від ультрафіолетового до інфрачервоного та радіохвиль. У сільському господарстві найбільший інтерес становлять ті діапазони, які несуть інформацію про фізіологічний стан рослин.

Коли світло досягає рослинної поверхні, воно зазнає кількох процесів:

- **поглинання** (наприклад, хлорофілом під час фотосинтезу);
- **відбиття** від поверхні (це ми сприймаємо зором або фіксують камери та сенсори);
- **пропускання** крізь листову тканину або перетворення на тепло.

Особливості взаємодії світла з рослиною:

- **Видиме світло (400–700 нм).** Сині та червоні хвилі активно поглинаються пігментами й беруть участь у фотосинтезі, тоді як зелене світло здебільшого відбивається, через що листя має характерне зелене забарвлення.
- **Ближнє інфрачервоне (NIR, 700–1100 нм).** Майже не поглинається пігментами, але сильно відбивається від здорових листків із щільною структурою та достатнім вмістом води.
- **Середнє та далеке інфрачервоне.** Дають змогу визначати температуру рослин, оцінювати водний баланс і навіть властивості ґрунту.

Спектральний відбиток як індикатор стану рослин. Здорові рослини активно поглинають червоний діапазон і відбивають ближнє інфрачервоне. Якщо ж рослина ослаблена, хвора чи зазнала стресу від посухи, її відбивна здатність у NIR знижується, а у видимому спектрі — підвищується. Ці зміни є своєрідними «сигналами тривоги», які сучасні системи дистанційного моніторингу здатні виявляти за допомогою спектральних сенсорів та індексів, таких як DRE.

Таким чином, поєднання знань про взаємодію світла з рослинними тканинами та можливостей сучасної спектральної техніки створює основу для **точного й своєчасного моніторингу стану посівів**, що було розглянуто у попередньому розділі.

«Пігмент у листках рослин — хлорофіл — сильно поглинає видиме світло (400–700 нм) для фотосинтезу. Клітинна структура листків, з іншого боку, значно відбиває ближнє інфрачервоне світло (NIR, 760–1100 нм). Саме на різниці поглинання та відбиття у видимому і NIR-діапазоні базуються спектральні індекси для оцінки стану рослинності.» [ст. 24]

Як було зазначено вище, зміни відбивної здатності у червоному та ближньому інфрачервоному діапазонах є інформативними показниками стану рослин. Цей принцип лежить в основі одного з найпоширеніших індексів дистанційного моніторингу — **NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)**, який показує наростання біомаси рослини.

Формула NDVI:

$$NDVI = \frac{(NIR - RED)}{(NIR + RED)}$$

де:

- **NIR** — відбиття у ближньому інфрачервоному діапазоні (700–1100 нм),
- **RED** — відбиття у червоному діапазоні (близько 660 нм).

Механізм роботи:

- **Здорова рослина** активно поглинає червоне світло (для фотосинтезу) та сильно відбиває NIR через особливості структури клітинних стінок і високий вміст води. Це дає високі значення NDVI (наближені до 1).
- **Ослаблена, хвора або пересушена рослина** поглинає менше червоного світла й відбиває менше NIR, тому NDVI зменшується (наближається до 0).
- **Відсутність рослинності** (грунт, сухі залишки, штучні поверхні) дає ще нижчі значення, іноді навіть від'ємні.

Завдяки простоті обчислення та високій інформативності, NDVI став стандартним інструментом у точному землеробстві. Його можна обчислювати як із супутникових знімків, так і з даних, отриманих дронами чи стаціонарними сенсорами.

Фото:

Dead Leaf – мертвий лист

Stressed Leaf – стрес

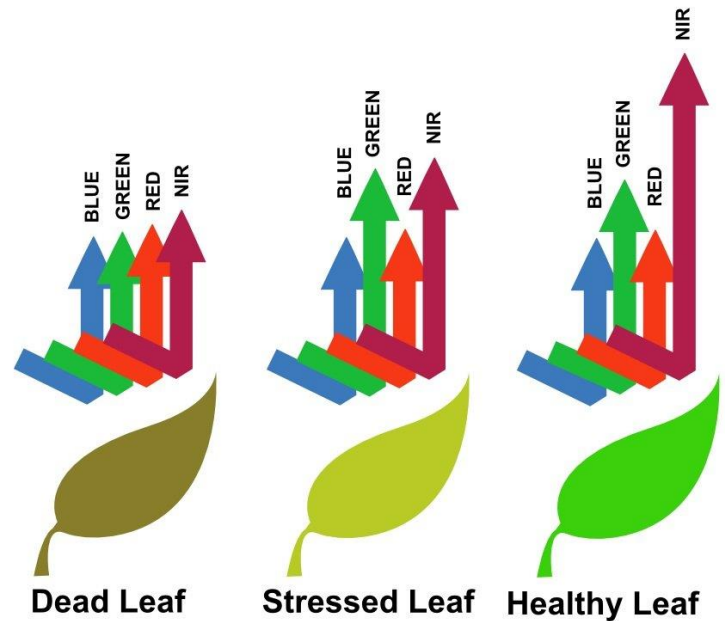
Healthy Leaf – Здоровий

Blue – голубий

Green – зелений

Red – червоний

Nir – інфрачервоний



Джерело фото: <https://botlink.com/blog/discover-ndvi-and-its-valuable-uses-in-agriculture>

«**NDVI** — нормалізований різницевий вегетаційний індекс, **NIR** — відбиття у ближньому інфрачервоному діапазоні, **RED** — відбиття у червоному діапазоні.» [ст. 24]

Як показують розглянуті вище приклади з NDVI та спектральними діапазонами, основою будь-якого дистанційного моніторингу є **баланс енергії світла, що взаємодіє з рослиною**.

Коли електромагнітне випромінювання (світло) падає на листок, воно розподіляється між трьома основними процесами:

$$E_i(\lambda) = E_r(\lambda) + E_a(\lambda) + E_t(\lambda)$$

E_i — падаюча енергія на певній довжині хвилі λ ,

E_r — відбита енергія (сприймається очима та реєструється сенсорами),

E_a — поглинута енергія (використовується у фотосинтезі або перетворюється на тепло),

E_t — енергія, що пройшла крізь листок або передалася далі.

У здорових рослин відбиття у червоному діапазоні низьке, а у ближньому інфрачервоному — високе, тоді як у стресових або хворих рослин ця пропорція змінюється. Саме на цих відмінностях базується робота індексів, таких як **NDVI**, **NDRE** чи **GNDVI**, описаних у попередньому розділі.

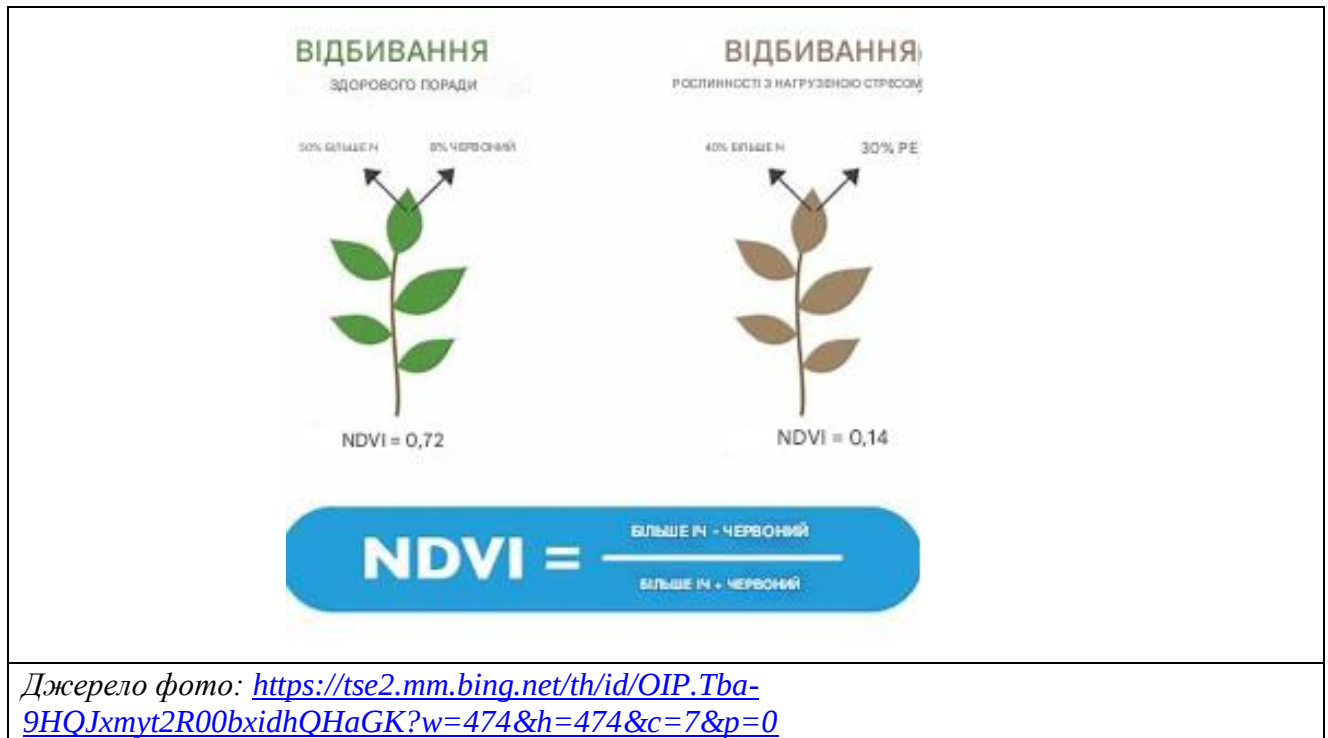
Кожна рослина, ґрунт чи навіть водна поверхня має свій **спектральний “підпис”** — унікальну комбінацію значень для різних довжин хвиль.

Аналіз цього підпису дозволяє:

- дистанційно визначати фізіологічний стан посівів;
- виявляти стрес, дефіцит вологи чи поживних елементів;

- прогнозувати врожайність;
- оптимізувати технологічні операції, вносячи ресурси лише там, де це потрібно.

Таким чином, фізичні принципи взаємодії світла з рослинними тканинами, біологічні особливості фотосинтезу та сучасні алгоритми спектрального аналізу утворюють **єдину наукову основу точного землеробства**. Саме вони дозволяють перетворити складні дані про енергію та спектри на зрозумілі карти, індекси та рекомендації для агровиробників.



Джерело фото: <https://tse2.mm.bing.net/th/id/OIP.Tba-9HQJxmyt2R00bxiDhQHaGK?w=474&h=474&c=7&p=0>

Важливо пам'ятати: Спектральний «підпис» рослин — це інформативний «відбиток», який дозволяє дистанційно діагностувати їхній стан, прогнозувати врожайність, попереджати ризики й оптимізувати агровиробництво. Багато сучасних системи агромоніторингу базуються саме на цих фізичних та біологічних принципах.

2. Вегетаційні індекси: NDVI та інші індекси стану рослин

Вегетаційний індекс — це математичний показник, який обчислюється на основі даних про відбивання світла рослинами у різних спектральних діапазонах. Його головна мета — **перетворити складну спектральну інформацію у зручну для аналізу кількісну оцінку стану рослинності**: рівня здоров'я, густоти, біомаси або ступеня стресу. Такий підхід дозволяє відображати дані у вигляді **карт стану поля**, які можна порівнювати у часі та просторі.

Принцип розрахунку індексів базується на тому, що **рослини взаємодіють зі світлом різних довжин хвиль по-різному**. Ця взаємодія залежить від їхнього фізіологічного стану, вмісту води, концентрації хлорофілу, густоти листового покриття та інших чинників:

- **Здорові листки** активно поглинають **червоне світло** (~660 нм) для фотосинтезу і водночас відбивають значну частину **ближнього інфрачервоного (NIR)** (~700–1100 нм) через особливості структури клітинних стінок і високий вміст вологи.
- **Ослаблені, хворі або пересушені листки** поглинають менше червоного світла і відбивають менше NIR. Водночас у видимому спектрі (особливо в червоному діапазоні) їх відбивна здатність зростає.

Саме ці відмінності лежать в основі розрахунку індексів.

Ці зміни у відбиванні добре фіксуються спектральними сенсорами, встановленими на **супутниках, безпілотноках або наземних платформах**, і можуть бути обчислені у вигляді різних вегетаційних індексів:

- **NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)** — базовий і найпоширеніший індекс, чутливий до вмісту хлорофілу та загальної біомаси.
- **NDRE (Normalized Difference Red Edge)** — оцінює стан рослин у червоному краї спектра, корисний для раннього виявлення стресу.
- **GNDVI (Green Normalized Difference Vegetation Index)** — використовує зелений діапазон для оцінки вмісту азоту.
- **PRI (Photochemical Reflectance Index)** — чутливий до змін у фотосинтетичній активності протягом дня.

NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) — нормалізований різницеви вегетаційний індекс

Формула:

$$NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED)$$

- **NIR** — відбиття у ближньому інфрачервоному діапазоні (~760–900 нм)
- **RED** — відбиття у видимому червоному (~640–700 нм)

Значення NDVI:

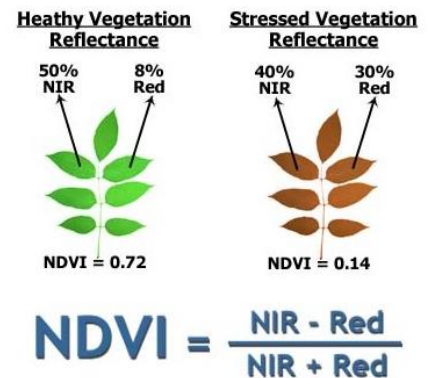
- Від -1 до +1
- Близько 0 — немає рослинності (або мертва)
- 0,1–0,3 — рідка або стресована рослинність
- 0,3–0,7 — здорова, активна рослинність
- Вище 0,7 — дуже густа, потужна зелена маса (наприклад, ліс)

Практичне значення: можна будувати “карти здоров’я” посівів, планувати застосування пестицидів або добрив, виявляти ділянки для обстеження.

Пояснення до фото:

Здорова рослинність (Healthy Vegetation Reflectance)

- **50 % NIR, 8 % Red**
- Здорові листки активно **поглинають червоне світло** (для фотосинтезу), але **відбивають багато інфрачервоного** (через структуру клітин і вміст хлорофілу).
- Розрахунок дає: **NDVI = 0.72**
(високе значення → рослина у хорошому стані).



Стресована рослинність (Stressed Vegetation Reflectance)

- **40 % NIR, 30 % Red**
- Рослини у стресі (нестача води, поживних речовин, хвороби) **гірше поглинають червоне світло і менше відбивають NIR**.
- Розрахунок дає: **NDVI = 0.14** (низьке значення → поганий стан).

Джерело фото: <https://www.integraldrones.com.au/wp-content/uploads/2017/09/NDVI-Blog.jpg>

«NDVI — це базовий індекс дистанційного моніторингу, який визначає співвідношення відбиття ближнього інфрачервоного і червоного світла, і широко використовується для оцінки стану посівів.»

[ст. 24]

GNDVI (Green NDVI)

- Використовує зелений діапазон замість червоного.
- Формула: $GNDVI = (NIR - GREEN) / (NIR + GREEN)$
- Чутливіший до кількості хлорофілу, ранніх ознак стресу.

NDRE (Normalized Difference Red Edge Index)

- Використовує “червоний край” (Red Edge, ~710–740 нм)
- Формула: $NDRE = (NIR - RE) / (NIR + RE)$
- Добре працює на пізніших стадіях розвитку культур, коли NDVI “перенасичується”.

EVI (Enhanced Vegetation Index)

- Враховує ще й синій канал, “гасить” ефект ґрунту та атмосферних впливів, за рахунок не покритого ґрунту рослинами.

- Формула:

$$EVI = 2.5 * (NIR - RED) / (NIR + 6*RED - 7.5*BLUE + 1)$$

- Чутливіший до густих посівів, застосовується в лісництві.

SAVI (Soil-Adjusted Vegetation Index)

- Коригує NDVI на вплив ґрунту, особливо коли рослинність рідка.

- Формула:

$$SAVI = ((NIR - RED) / (NIR + RED + L)) * (1 + L), \text{ де } L — \text{ коефіцієнт корекції ґрунту.}$$

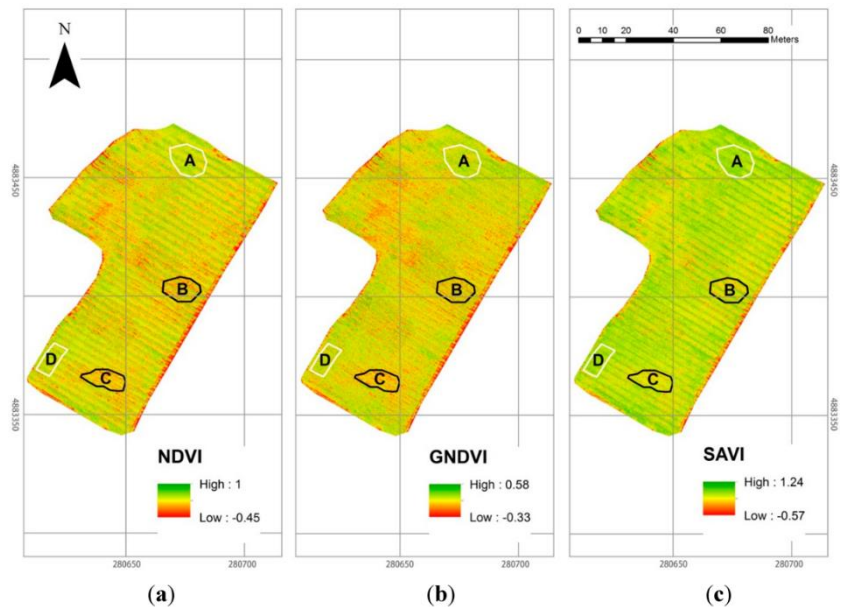
Як обрати індекс для конкретної задачі?

- **NDVI** — універсальний для будь-яких культур на основних етапах розвитку.
- **GNDVI, NDRE** — для ранньої діагностики стресу, під час цвітіння, для пізніх культур.
- **EVI, SAVI** — для робіт із густою рослинністю або якщо значний вплив ґрунту.

Карта індексу — це кольорова схема поля, де кожен піксель має певне значення індексу. При використанні таких карт важливо звертати увагу на пояснення кольорів та кольорові шкали, щоб здійснювати правильне оцінювання результатів.

Фото:

Кarti NDVI (a), GNDVI (b) та SAVI (c, з $L = 0,25$) для виноградної ділянки. Зони А–D та С–В показують зони з високими та низькими значеннями VI відповідно.



Джерело фото: https://www.mdpi.com/2072-4292/7/4/4026?utm_source=chatgpt.com

Приклад:

- **Червоні/жовті ділянки** — проблемні зони, де рослини в стресі або погано розвиваються.
- **Зелені/сині ділянки** — здорові, потужні рослини.

«Використання вегетаційних індексів дозволяє не лише побачити загальний стан посіву, а й точно локалізувати ділянки із зниженим розвитком, провести “точковий” агромоніторинг і скоригувати агротехнічні заходи.»

[с. 86]

Практичні приклади використання вегетаційних індексів:

Планування підживлення:

- **NDVI-карти** застосовують як один із методів зонування та додаткового дослідження полів, що дає змогу формувати диференційовані карти внесення добрив або навіть окремих елементів живлення. Такий підхід особливо ефективний на великих полях із неоднорідними ґрунтовими умовами, де зони з високим NDVI можуть потребувати коригування системи внесення добрив.

Моніторинг стресу рослин:

- **GNDVI** (зеленого діапазону) та **NDRE** (червоного краю спектра) дозволяють **виявляти ранні стадії стресу** ще до того, як він стане помітним візуально.
- Ці індекси чутливі до змін у вмісті хлорофілу, що може сигналізувати про **посуховий стрес, нестачу поживних елементів, ураження хворобами чи фітотоксичну дію ЗЗР**.
- Раннє виявлення проблем дає змогу вчасно вжити коригувальні заходи й мінімізувати втрати врожаю.

Облік пошкоджень та оцінка збитків:

- Після граду, буревію, затоплення чи спалаху хвороб, **NDVI-карти** дозволяють швидко визначити площу та ступінь відставання рослин в розвитку.
- Це не лише допомагає агроному в плануванні подальших дій, але й слугує документальним підтвердженням для страхових компаній або у випадку подачі заявок на компенсації.
- Візуалізація пошкоджених ділянок у вигляді карт значно полегшує ухвалення управлінських рішень.

Важливо пам'ятати: Вегетаційні індекси — це важливий інструмент цифрового агронома. Вони “перекладають” спектральну інформацію у просту і зрозумілу мову карти або таблиці, допомагаючи приймати рішення оперативного втручання в розвиток рослин на полях.

3. Апаратно-програмні комплекси дистанційного моніторингу агроценозів

Апаратно-програмні комплекси — це сукупність технічних засобів та програмного забезпечення, які забезпечують отримання, обробку та аналіз даних про стан рослин і ґрунтів **на відстані**, без фізичного контакту з об'єктом спостереження. Основою роботи таких систем є описані вище принципи взаємодії електромагнітного випромінювання з рослинними тканинами та ґрунтовою поверхнею.

Ключова особливість таких комплексів — поєднання **апаратної частини** (сенсори, камери, дрони, станції) та **програмної частини** (системи обробки зображень, розрахунку спектральних індексів, генерації карт і рекомендацій). Це дозволяє перетворювати великі масиви даних про відбиття у різних спектральних діапазонах на практичну інформацію: карти стану посівів, виявлення зон стресу, прогнозування врожайності та оптимізація використання ресурсів. Таким чином, апаратно-програмні комплекси є інструментальним втіленням усіх фізичних, біологічних та математичних принципів, описаних у попередніх розділах, і забезпечують практичну реалізацію концепцій **точного землеробства**.

Основні типи Апаратно-програмних комплексів для дистанційного моніторингу полів:

Супутники: це орбітальні апарати, оснащені багатоспектральними та гіперспектральними сенсорами, що здійснюють регулярний збір зображень великих площ поверхні з різною періодичністю та просторовою роздільною здатністю, включають як комерційні. Супутниковий моніторинг дозволяє отримувати інформацію про стан рослинності, ґрунту, вологи та температури з великою частотою оновлення та на значних територіях.

Переваги:

- Охоплюють великі площі (від кількох гектарів до цілих країн)
- Можна аналізувати зміни в динаміці (моніторинг за місяць, сезон, рік)
- Дані багатьох супутників відкриті та безкоштовні (наприклад, Sentinel-2, Landsat-8)

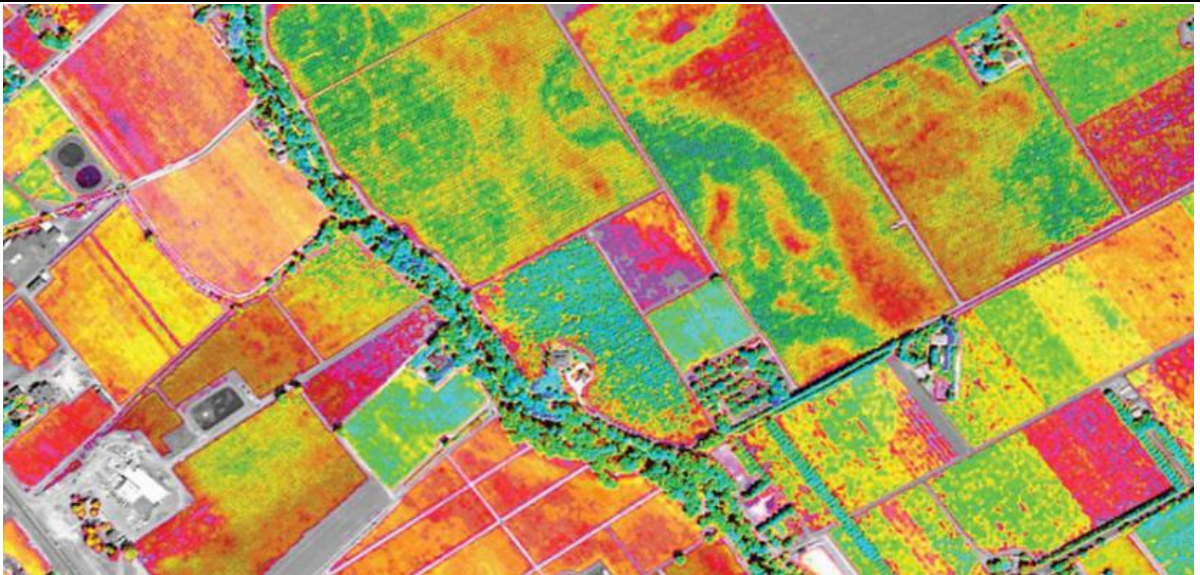
Обмеження:

- Залежність від хмарності — неможливо “бачити” поле коли хмарна погода
- Просторова роздільна здатність зазвичай не дозволяє виявити дрібні деталі (від 10 до 30 м для популярних безкоштовних супутників)
- Інтервал зйомки — кілька днів (або й тижнів)

Приклад:

«...Перші супутники для моніторингу ресурсів Землі (наприклад, Landsat-1, запущений у 1972 році) відкрили нову епоху у спостереженні за сільським господарством, картографією, лісовим господарством, геологією тощо. На сучасних супутниках, як правило, встановлені багатоспектральні камери для збору й аналізу даних про стан земель.»

[ст. 16]



Джерело фото: <https://www.xyht.com/enviroag/satellite-imagery-precision-agriculture/>

На фото представлено: Це супутникове зображення полів, оброблене для оцінки стану рослинності. На ньому застосовано **індекси вегетації (наприклад, NDVI)**, що дозволяє виділити зони за рівнем біомаси й здоров'ям культур.

Безпілотні літальні апарати (БПЛА, дрони): це повітряні апарати, що оснащуються різноманітними сенсорами (RGB, мульти- чи гіперспектральні камери, тепловізори) для отримання детальних знімків та даних локальних ділянок поля. Дрони дозволяють швидко, гнучко та з високою роздільною здатністю збирати дані для аналізу стану посівів, пошуку стресових зон, обліку шкідників, хвороб чи бур'янів.

Переваги:

- Висока просторово-часова точність (можна обстежити конкретну ділянку в будь-який момент)
- Знімки з роздільною здатністю до 2-5 см на піксель
- Можна літати під хмарами, отримувати дані «точно під задачу»
- Можливість підвішувати різні типи сенсорів — від звичайної RGB-камери до мульти- чи гіперспектральної, тепловізора

Обмеження:

- Потребує оператора, хороших навичок роботи з БПЛА, спеціалізованого програмного забезпечення для планування місії й обробки даних
- Обмежений час польоту (20–60 хвилин), залежність від погоди й регуляторних вимог на польоті
- Охоплює менші площі за один виліт: до 100–200 га за день

Дрон Turhoon Q500 — це більше, ніж просто радіокерований мультиротор, він призначений для APV – аерофотозйомки та відеозйомки. Для цього він оснащений CGO3-GB, 3-осьовою камерою зі стабілізованим карданом, здатною записувати відео 4K, записувати відео 1080p зі швидкістю до 120 кадрів/с та знімати фотографії з роздільною здатністю 16 мегапікселів.



Приклад:

«Використання квадрокоптерів з RGB- та спектральними камерами дозволяє отримувати оперативну й детальну інформацію про стан посівів, виявляти бур'яни, хвороби, нестачу води чи елементів живлення, проводити точкове внесення препаратів. Наприклад, Parrot Sequoia, DJI Phantom 4 Multispectral — популярні моделі для агросфери.» [ст. 85-87]

Наземні сенсорні системи: це стаціонарні або мобільні пристрої, розміщені безпосередньо в полі, які постійно або періодично реєструють параметри середовища та рослинності (температура, вологість, вміст елементів, фотосинтетична активність тощо). До них належать агрометеостанції, ґрунтові датчики, сенсори NDVI для розміщення в рядках посіву чи на кромці поля.

Переваги:

- Можуть цілодобово вимірювати окремі параметри: температуру, вологість, освітленість, електропровідність ґрунту, концентрацію CO₂
- Висока точність і можливість калібрування, інтеграція з системами зрошення або поливу
- Дані надходять в режимі онлайн за встановленими параметрами

Обмеження:

- Отримані дані актуальні тільки для конкретної точки або невеликої ділянки
- Потрібна періодична технічна підтримка, обслуговування обладнання

Приклад:

«Наземні сенсорні комплекси фіксують мікрокліматичні показники, стан ґрунту й атмосфери, слугують для калібрування супутникових та аерознімків. Вони є складовою частиною “розумного поля”.» [ст. 79]



Джерело фото: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0168169913001579>

Мобільні комплекси (сенсори на тракторах, автомобілях, ручні сканери, наземні безпілотні апарати - роботи) - це транспортні засоби, оснащені сенсорами та сканерами, які здійснюють збір даних у процесі руху полем. Мобільні комплекси можуть бути змонтовані на тракторах, автомобілях, квадроциклах, пересувній безпілотній платформі або виконані у вигляді ручних сканерів. Вони дозволяють здійснювати зондування посівів і ґрунту з високою деталізацією та оперативністю безпосередньо під час виконання агротехнологічних операцій (обробіток, підживлення, полив).

Переваги:

- Дозволяють інтегрувати збір даних у процес обробітку (наприклад, під час обприскування, сівби чи збирання)
- Можуть поєднувати GPS, спектральні сенсори, камери високої роздільної здатності



Обмеження:

- Потребують підготовленого технічного персоналу щоб працювати
- Технічне рішення потребує постійного контролю та обслуговування
- Не покривають великі площі “безперервно”, як супутники

Таблиця 1. Порівняння комплексів

Платформа	Площа, га	Роздільна здатність	Частота знімків	Вартість	Приклади
Супутник	1000 –1 000 000	10–30 м (безкоштовно)	5–16 днів	Мінімальна	Sentinel, Landsat
Дрон (БПЛА)	1–200	2–20 см	В будь-який час	Середня (разова)	DJI Phantom, Parrot
Наземні сенсори	0,01–1	Точкова	цілодобово	Середня/висока	Metos, iMetos
Мобільні комплекси	1–1000	1–50 см	під час роботи	Висока	Trimble, CropScan

Роз’яснення: Роздільна здатність — це розмір площі, яку показує один піксель на знімку. Наприклад, при 10×10 м один піксель охоплює 100 м², де може бути до 50 000 рослин пшениці. Ми бачимо лише середнє значення для всієї цієї площі. Через це супутник фіксує проблему вже тоді, коли вона поширилася на велику ділянку, але не може «побачити» маленькі вогнища на початку.

Як вибрати комплекси для задач агронома?

- **Великі поля, довготривалий моніторинг:** супутникові дані (недорого, але менш деталізовано), забезпечує виявлення проблем для подальшої деталізації.

- **Швидке виявлення проблем, точкові задачі:** дрони з RGB або мультиспектральними камерами, забезпечує більш детальне оцінювання проблем
- **Точковий контроль, калібрування:** наземні станції й ручні сенсори, виявлення точних агрономічних показників.
- **Інтеграція із технікою:** мобільні платформи (сенсори на тракторах, комбайнах), що дозволяє отримування більш конкретних даних.

Приклади реального застосування:

- Супутниковий NDVI-картування для планування підживлення зернових (без виїзду в поле)
- Обстеження посівів дронами після буревію — виявлення поламаних і знищених площ із точністю до квадратного метра
- Наземні датчики для автоматичного керування поливом в теплицях
- Встановлення мультиспектральних камер на самохідних обприскувачах для “розумного” диференційованого внесення

Важливо пам’ятати: вибір апаратно-програмного комплексу дистанційного моніторингу агроценозів залежить від поставлених завдань, адже кожна система має свої можливості та обмеження. Кожен комплекс вимагає спеціалізованих знань, співпраці з постачальниками й розробниками технічних та програмних рішень, а також відповідних навичок користування.

4. Типи сенсорів і камер. Порівняння RGB, мульти- та гіперспектральних камер

Вибір сенсора визначає не лише **якість отриманого зображення**, але й спектр агрономічної інформації, яку можна отримати під час дистанційного моніторингу. Саме від типу та характеристик камери залежить здатність виявляти **невидимі для людського ока ознаки стресу, дефіциту поживних елементів, пошкодження шкідниками чи розвиток хвороб** — часто ще на доклінічній стадії, коли на полі візуально не помітно жодних змін.

Правильна комбінація сенсорів у складі апаратно-програмного комплексу дає змогу отримати багатовимірну картину стану посівів: від візуального аналізу до високоточного спектрального та теплового моніторингу. Це, у свою чергу, забезпечує більш своєчасне й ефективне прийняття управлінських рішень у точному землеробстві.

Основні типи камер для агромоніторингу:

1. **RGB-камери (звичайні “кольорові”)** - забезпечує класичні цифрові фото- та відеокамери, які фіксують три основні кольори: червоний (Red), зелений (Green) і синій (Blue).

- Працюють у діапазоні 400–700 нм.
- Забезпечують кольорові знімки високої якості для візуального огляду.
- Підходять для загального моніторингу та виявлення помітних пошкоджень, але не дозволяють оцінити стан рослин на спектральному рівні.

Переваги:

- Висока роздільна здатність (до 20–60 Мп і більше)
- Доступна ціна, простота використання
- Достатньо для оперативної візуальної діагностики (бур'яни, видимі хвороби, пошкодження, випадання рослин, не рівномірність розвитку)

Обмеження:

- Не “бачать” інфрачервоні діапазони — не визначають ранні стреси, водний дефіцит, хлороз до візуальних симптомів
- Якість оцінки залежить від погодних умов, освітлення, часу доби

Цитата:

«RGB-камери дають змогу виконувати оглядові обстеження окремих ділянок. Вони прості в застосуванні, особливо у поєднанні з квадрокоптерами. Однак їх можливості для глибокого агроаналізу обмежені.»

[ст. 85]



Фото: Камера з каналами RGB + NIR, але з класичною RGB секцією (Spectral Devices)

Джерело фото: <https://spectraldevices.com/cdn/shop/products/msd-rgbn-1-a.png?v=1666210553&width=1445>

2. Мультиспектральні камери - фіксують відбиття світла у кількох спеціальних діапазонах: Видимий (червоний, зелений, синій), Близький інфрачервоний (NIR), Часто — червоний край (Red Edge).

Переваги:

- Дають змогу розраховувати основні вегетаційні індекси (NDVI, GNDVI, NDRE тощо)
- Виявляють стрес на ранніх стадіях (дефіцит води, поживних речовин, хвороби до появи видимих симптомів)
- Підходять для інтеграції із дронами, супутниками, мобільними платформами

Обмеження:

- Вартість вища за RGB (від 1000 до 10000 дол. і більше)
- Не дають “повного спектра” — лише кілька каналів

Цитата:

«Мультиспектральні камери дозволяють отримувати інформацію по кожному спектральному діапазону окремо, що дає змогу обчислювати багато індексів і точно оцінювати стан рослинності.»

[ст. 87]



Фото: MicaSense Altum-PT — поєднання теплової та мультиспектральної камери

Джерело фото:

https://cdn.cloudbf.com/thumb/format/mini_xsize/files/62/img/2024/09/04/202409041025530179133.jpg.webp

3. Гіперспектральні камери - дуже “чутливі” камери, що фіксують десятки чи навіть сотні спектральних каналів у дуже вузьких інтервалах (від ультрафіолету до середнього інфрачервоного). Використовуються для високоточного аналізу стану культур, ідентифікації хвороб, оцінки сортових відмінностей.

Переваги:

- Виявляють навіть мінімальні відмінності у біохімічному складі рослин, типах стресу, сортах, ґрунтах
- Можна розробляти “власні” індекси для конкретної культури або завдання
- Надточна діагностика, можливість машинного навчання для класифікації станів

Обмеження:

- Висока вартість (від 10 000 доларів і більше)
- Великий обсяг даних, складність обробки, потреба у спеціальному ПЗ й обчислювальних потужностях
- Більше придатна для науки, селекції, розробок нових технологічних рішень

Цитата:

«Гіперспектральні камери дозволяють проводити зйомку у діапазонах, які виходять за межі видимого спектра, — для розробки нових індексів, диференціації сортів, досліджень складу рослин.»

[ст. 87]



Таблиця 2. Порівняння камер для агромоніторингу

Тип камери	Діапазон	Каналів	Вартість	Де використовується	Основні можливості
RGB	Видимий (400–700 нм)	3	Дешева	Оглядова зйомка, облік	Візуальний аналіз, підрахунок рослин
Мультиспектральна	Видимий + NIR/RedEdge	4–8	Середня/Висока	Зонування полів, NDVI, GNDVI	Виявлення стресу, зон, картування
Гіперспектральна	УФ–Середнє ІЧ	20–300	Висока	Наука, селекція, аналіз	Діагностика, класифікація, точний аналіз

Практичні рекомендації щодо вибору камер

Вибір камери для дистанційного моніторингу залежить від цілей, бюджету та рівня деталізації даних, які необхідно отримати. Оскільки різні сенсори працюють у різних спектральних діапазонах, їх можливості та сфери застосування суттєво відрізняються.

Для базового моніторингу, навчання та “швидкого огляду”

- Достатньо сучасної **RGB-камери** (вбудованої у смартфон або дрон).
- Дає змогу швидко виявити явні проблеми — пошкодження рослин, нерівномірність сходів, бур’яни, наслідки вилягання чи затоплення.
- Підходить для візуальної оцінки та фотофіксації змін на полі.

- Обмеження: неможливо побачити фізіологічні стани та стресові фактори, що не проявилися у видимому спектрі.

Для оперативного та точного моніторингу стану посівів

- Рекомендована **мультиспектральна камера** (наприклад, *Parrot Sequoia*, *DJI Phantom 4 Multispectral*).
- Дозволяє отримувати зображення в кількох спектральних діапазонах, необхідних для розрахунку індексів **NDVI**, **NDRE**, **GNDVI** та інших.
- Ефективна для визначення зон стресу, нестачі вологи чи поживних елементів, планування диференційованого внесення добрив і ЗЗР.
- Оптимальне рішення для агровиробників, які хочуть інтегрувати моніторинг у систему точного землеробства.

Для наукових досліджень та складних аналітичних завдань

- Використовується **гіперспектральна камера**, яка фіксує сотні вузьких спектральних каналів.
- Дає змогу формувати унікальні спектральні індекси, виявляти конкретні хвороби на ранніх стадіях, аналізувати сортові відмінності, проводити фенотипування.
- Застосовується в наукових інститутах, дослідницьких господарствах та у високоточних проєктах.
- Недолік — висока вартість і складність обробки великих обсягів даних.

Додатково:

Тепловізійні камери — це сенсори, які реєструють **теплове (інфрачервоне) випромінювання** у далекому інфрачервоному діапазоні (приблизно 8000–14000 нм). Кожен об'єкт із температурою вище абсолютного нуля випромінює інфрачервоні хвилі, інтенсивність і довжина яких залежать від його температури.

У сільському господарстві тепловізори дозволяють:

- **Оцінювати температуру листкової поверхні** — важливий показник водного балансу рослин. При дефіциті вологи у ґрунті рослини зменшують транспірацію, що призводить до нагрівання листя.
- **Виявляти зони посухи** — ділянки поля з підвищеною температурою свідчать про стрес від нестачі води.
- **Визначати локальні джерела випаровування вологи** — наприклад, після дощу чи поливу теплові камери можуть виявляти ділянки з підвищеною вологістю.
- **Моніторити ефективність систем зрошення** — за допомогою теплових карт можна виявити нерівномірне зволоження.
- **Виявляти стресові фактори** — підвищення температури листків може сигналізувати не лише про посуху, але й про ураження хворобами, пошкодження кореневої системи або вплив високих температур довкілля.

Перевагою тепловізійних камер є можливість **отримувати дані у будь-який час доби**, оскільки для фіксації випромінювання не потрібне сонячне світло. Це дозволяє проводити моніторинг навіть уночі або в умовах хмарності.

Тепловізори ефективно інтегруються з мульти- та гіперспектральними сенсорами, доповнюючи спектральний аналіз інформацією про **фізіологічний стан рослин через температурні показники**.

«Тепловізори дозволяють проводити аналіз температури поверхні рослин або ґрунтів, будувати температурні карти поля, які допомагають оптимізувати полив і попередити втрати врожаю через посуху.»

[ст. 121]

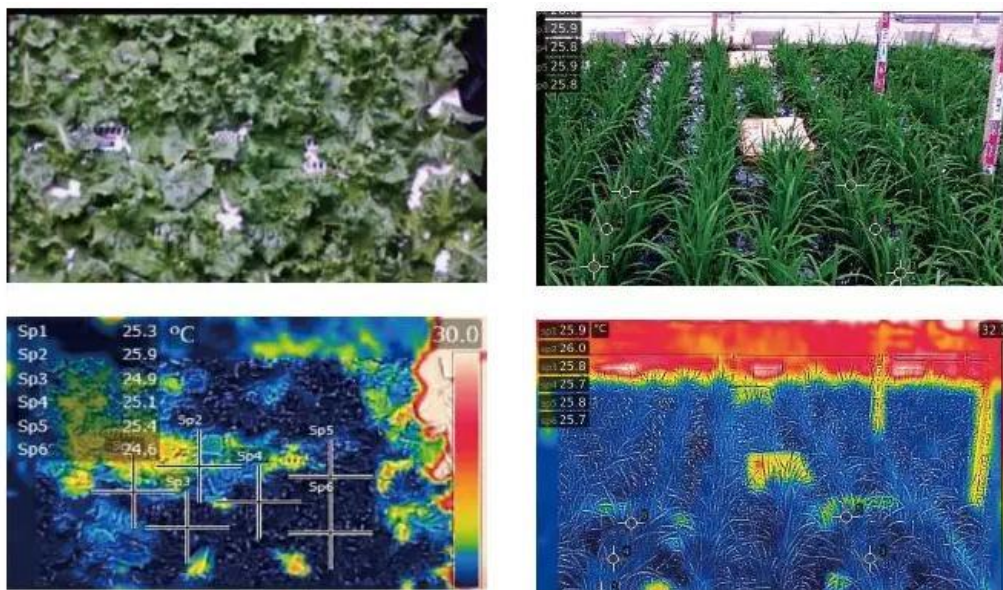


Фото: Тепловізійна зйомка рослин

Тепловізійні камери фіксують температурні відмінності на поверхні листків і ґрунту. Це дає змогу виявляти тепловий стрес, дефіцит вологи та оцінювати ефективність агротехнологічних дослідів.

Джерело фото: <https://liberal-technology.com/wp-content/uploads/2024/08/%E5%9B%BE%E7%89%875-1-1.png>

Важливо пам'ятати: Правильний вибір сенсора — це основа сучасного моніторингу: від простих RGB-камер до мульти- та гіперспектральних систем, тепловізорів. Чим складніше завдання — тим більші вимоги до типу камери та її технічних можливостей.

5. Практичні аспекти застосування БПЛА та супутників

БПЛА (Дрони) та супутники — це головні “цифрові очі” сучасного агронома, які забезпечують швидке, масштабне та безконтактне отримання даних про стан сільськогосподарських угідь. Вони працюють за принципами дистанційного зондування Землі, використовуючи оптичні, мультиспектральні, гіперспектральні та тепловізійні сенсори для збору інформації у видимому та невидимому для людського ока спектрі.

Можливості та переваги використання:

- **Оперативність** — отримання даних у потрібний момент (у випадку з дронами — навіть у конкретну годину, у потрібних погодних умовах).
- **Масштабність** — супутники охоплюють цілі регіони, а дрони дозволяють детально обстежити окремі поля з роздільною здатністю до кількох сантиметрів на піксель.
- **Безконтактність** — немає потреби фізично заходити на поле, що особливо цінно у важкодоступних або пошкоджених зонах.
- **Комплексність даних** — можливість одночасного збору інформації про вегетаційні індекси (NDVI, NDRE, GNDVI тощо), температуру листової поверхні, висоту та густоту посівів, рівень вологи.

Дрони (БПЛА):

- Оснащуються RGB, мультиспектральними, гіперспектральними та тепловізійними камерами.
- Ідеальні для детального обстеження окремих полів, виявлення дрібних локальних проблем (засміченість бур'янами, осередки хвороб, нерівномірність сходів).
- Використовуються для складання карт диференційованого внесення добрив, пестицидів та планування зрошення.

Супутники:

- Забезпечують регулярне (щоденне або кілька разів на тиждень) оновлення даних для великих територій.
- Доступні безкоштовні джерела (Sentinel-2, Landsat-8/9) та комерційні сервіси з вищою роздільною здатністю (PlanetScope, WorldView).
- Оптимальні для відстеження динаміки стану посівів упродовж сезону, аналізу великих агропроектів, моніторингу погодних та кліматичних впливів.

Поєднання **високодеталізованих даних дронів** із **масштабними та регулярними спостереженнями супутників** дозволяє створити багаторівневу систему агромоніторингу. Це дає змогу агроному не лише бачити поточний стан полів, але й аналізувати тенденції, прогнозувати ризики та планувати точні, економічно обґрунтовані агротехнічні операції.

Як проходить моніторинг із супутника?

1. Вибір супутникової платформи

Безкоштовні: Sentinel-2, Landsat-8 (відкрите джерело даних, регулярна зйомка).

Платні: PlanetScope, WorldView, RapidEye (вища роздільна здатність і частота зйомки).

2. Процес роботи

- Реєстрація на порталі (Copernicus Open Access, EOS, Sentinel Hub, OneSoil тощо).

- Вибір ділянки на карті та періоду зйомки.
- Завантаження мультиспектральних знімків (зазвичай у вигляді TIFF- або GeoTIFF-файлів).
- Аналіз отриманих даних у ГІС або спеціальних агросервісах.

Переваги та обмеження супутникового моніторингу

- + Охоплення великих площ, архівні дані за багато років.
- + Автоматичний аналіз динаміки полів.
- – Залежність від хмарності, недостатня деталізація для малих полів або дрібних проблем.

«Супутникові дані особливо корисні для великотоварного виробництва, коли потрібно бачити зміни на тисячах гектарів, планувати логістику та стратегічні роботи.»
[ст. 78-79]

Як організувати моніторинг із БПЛА?

1. Підготовка до польоту

Вибір типу БПЛА та камери: RGB — для візуальної діагностики, мультиспектральна — для розрахунку індексів.

Планування маршруту польоту (заздалегідь у програмі DJI GS Pro, Pix4Dcapture, DroneDeploy тощо).

Перевірка погодних умов, батарей, дозволів на польоти.

2. Виконання зйомки

БПЛА автоматично пролітає за заданим маршрутом на висоті 20–120 м (залежно від площі і потрібної деталізації).

Збирає серії знімків у потрібних спектральних каналах.

3. Передача та обробка даних

Завантаження даних у спеціалізоване ПЗ для обробки та побудови ортофотопланів і індексних карт (Pix4D, Agisoft, DroneDeploy, OneSoil).

Автоматичне “зшивання” знімків у єдину карту поля.

Розрахунок NDVI, GNDVI, NDRE, температурних карт.

4. Інтерпретація результатів

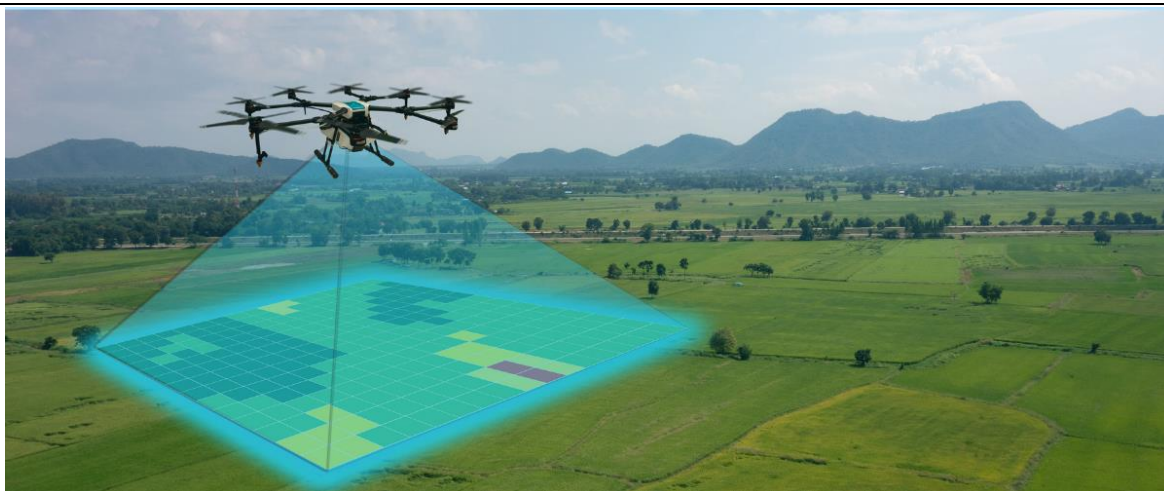
Виявлення “небезпечних точок”: зони стресу, дефіциту вологи, пошкодження, бур’яни.

Ідентифікація проблеми, розробка коригуючих заходів для усунення невідповідності.

Одне з рішень: розробка карт в для GPS-техніки для забезпечення диференційованого внесення добрив.

«Використання дронів із мультиспектральними сенсорами дає змогу оперативно локалізувати проблеми, визначати площі пошкоджень, аналізувати просторову структуру поля із точністю до кількох сантиметрів.»

[ст. 86]



Джерело фото: https://assets-global.website-files.com/5d7a345dfedbb6145d87d0d8/628cbf2864b6aa8017ef36fa_xfG1la70bs7GuYm70WMHmoGT9JZLi3nTNW96L6ekKPT7Iw8LExitAVZnmOu_3vz-aeTpnLAh2TWn7EWDNq39tEdn59Xgtfjmh6X594SNje7mMykFtVwxqZAiOFT9kMsRDuePpshkRvf_vPvc2A.png

Покрокова інструкція моніторингу з БПЛА

1. Підготовка обладнання

- Перевірити справність БПЛА, наявність та заряд акумуляторів, стан гвинтів і датчиків.
- Підготувати камеру (RGB, мультиспектральну, тепловізійну) та перевірити її роботу.
- Очистити карту пам'яті або підготувати кілька резервних.
- Переконалися у наявності запасних батарей, кабелів, зарядних пристроїв.
- Перевірити ліцензії/дозволи на використання дрона, якщо це потрібно в регіоні.

2. Планування польоту

- Визначити ціль моніторингу (NDVI, тепловий аналіз, виявлення стресу, облік пошкоджень).
- Обрати висоту польоту залежно від бажаної роздільної здатності (зазвичай 50–120 м для мультиспектральної зйомки).
- Налаштувати перекриття кадрів (70–80% для якісної ортомозаїки).
- Задати маршрут польоту в планувальній програмі (Pix4Dcapture, DJI GS Pro, DroneDeploy тощо).
- Врахувати погодні умови — уникати сильного вітру, дощу, туману; оптимально проводити зйомку в середині дня за стабільного освітлення.

3. Калібрування сенсорів

- Для мультиспектральної зйомки обов'язково провести зйомку еталонної панелі для корекції освітлення.
- Перевірити налаштування балансу білого для RGB-камери.
- У разі використання тепловізора дати камері кілька хвилин для стабілізації показників.

4. Виконання польоту та зйомки

- Запустити автоматичний політ відповідно до запланованої місії.
- Контролювати параметри БПЛА у реальному часі (рівень заряду, зв'язок, висота, маршрут).
- У разі необхідності — робити додаткові знімки проблемних ділянок у ручному режимі.

5. Передача та збереження даних

- Завантажити дані з карти пам'яті на комп'ютер або хмарне сховище.
- Перевірити цілісність і повноту знімків.
- Для великих обсягів даних — створити резервні копії.

6. Обробка даних

- Імпортувати знімки у програму для фотограмметрії (Pix4D, Agisoft Metashape, DroneDeploy, Pix4Dfields).
- Створити **ортофотоплан** поля та розрахувати вегетаційні індекси (NDVI, NDRE, GNDVI залежно від задачі).
- Для теплової зйомки — згенерувати теплову карту поля.

7. Аналіз та інтерпретація результатів

- Виділити ділянки з відхиленнями від норми (зони низького NDVI, підвищеної температури тощо).
- Спланувати додатковий наземний огляд у проблемних зонах для підтвердження причин відхилень.
- Прийняти рішення щодо коригування технологій — наприклад, диференційованого внесення добрив, поливу або засобів захисту.

8. Архівація та порівняння з історичними даними

- Зберегти отримані карти та ортофотоплани у базі даних господарства.
- Порівняти з попередніми результатами моніторингу для відстеження динаміки стану поля.

Таблиця 3. Порівняння БПЛА та супутників у польовій практиці

Параметр	БПЛА	Супутник
Площа	1–300 га/день	1000–1 000 000 га/зйомка
Деталізація	2–10 см/піксель	10–30 м/піксель (Sentinel)
Гнучкість	В будь-який час	За розкладом, кожні 5–16 днів
Вартість	Разова, середня/висока	Безкоштовно/за підпискою
Вплив хмар	Немає (літає нижче)	Значний

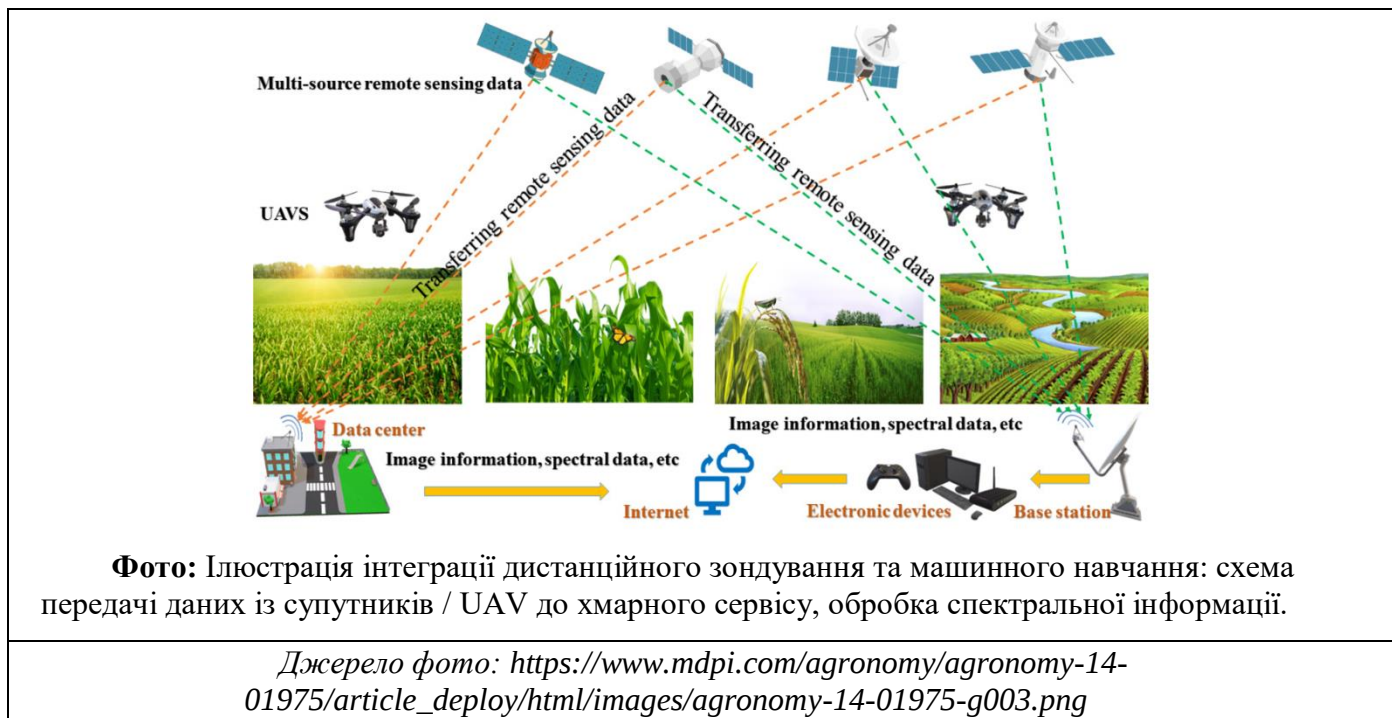
Типові помилки при польових обстеженнях

- **Ігнорування калібрування сенсорів:** неточні індекси, “фантомні” проблеми на карті.
- **Неправильний час зйомки:** ввечері чи рано вранці різні тіні можуть спотворювати результат.
- **Занадто висока швидкість польоту:** розмиті кадри, втрати інформації.
- **Перекриття кадрів менше 70%:** “дірки” у мозаїці, помилки під час зшивання, з врахуванням рельєфу місцевості.

Важливо пам’ятати: БПЛА і супутники не “конкурують”, а доповнюють один одного. Супутник — для стратегічного моніторингу великих площ, дрон — для деталізації, оперативного аналізу і точкових рішень. Оптимальна схема — поєднувати обидві технології, адаптуючи їх під конкретну культуру, фазу розвитку та цілі господарства.

6. Обробка та інтерпретація даних

Після зйомки дронами чи супутниками отримують великі масиви **“сирих” знімків або датасетів**, які самі по собі ще не несуть прямої користі для агронома. Такі дані можуть містити сотні або тисячі окремих знімків у різних спектральних діапазонах, а також додаткову службову інформацію (геокоординати, дані про освітлення, висоту зйомки). Щоб вони стали корисними для агронома, потрібно правильно їх обробити, **“перетворити”** у карту індексів, здійснити інтерпретацію отриманих результатів для подальшого прийняття технологічних рішень.



Етапи роботи з даними

1. Завантаження та первинна обробка знімків

Організація даних:

- Завантажте всі знімки з носія дрона чи із супутникової платформи на комп'ютер.
- Сортуйте за датою, полем, культурою.
- Резервне копіювання!

“Зшивка” (мозаїка) знімків:

- За допомогою програм (Pix4D, Agisoft, DroneDeploy) створіть єдиний ортофотоплан — цілісну карту поля з геоприв'язкою.

2. Картографування та розрахунок індексів

Побудова індексних карт (NDVI, GNDVI, NDRE тощо):

Виберіть у спеціалізованій програмі потрібний індекс. Прорахунок значення для кожного пікселя.

Візуалізація:

Карта індексу — це кольорове зображення, де кожен колір відповідає різному стану рослин (червоний — стрес, зелений — здорова рослинність).

«Всі сучасні програми для обробки аеро- чи супутникових знімків дозволяють будувати індексні карти за кілька кліків. Важливо вибирати правильний індекс та коригувати дані на вплив хмарності, освітлення, кута зйомки.»

[ст. 86-87]

3. Інтерпретація індексних карт

Локалізація проблем: Провівши наліз карти потрібно знайти ділянки які мають відхилення від типового розвитку культури в даний період часу. Бажано провести порівняльний аналіз з іншою даними по даній ділянці поля: тип ґрунту, мікрорельєф, особливості технології. Провести статистичний аналіз всієї території та автоматично підрахувати площу ділянок з різним індексом, виявити тенденції.

4. Експорт і застосування даних у господарстві

Передача у хмарні сервіси: Отримані дані доступні для різних спеціалістів, що дозволяє координувати роботу в режимі реального часу. При потребі дані можна експортувати у GPS-формат, що може бути сумісний з агротехнікою (наприклад, для тракторів з автопілотом, сівалок чи обприскувачів).

«Завдяки сучасним системам обробки та обміну даними агрономи можуть оперативно отримувати карти стану посівів на мобільних пристроях, приймати рішення про підживлення, полив, обробки ЗЗР прямо в полі.»

[ст. 87]

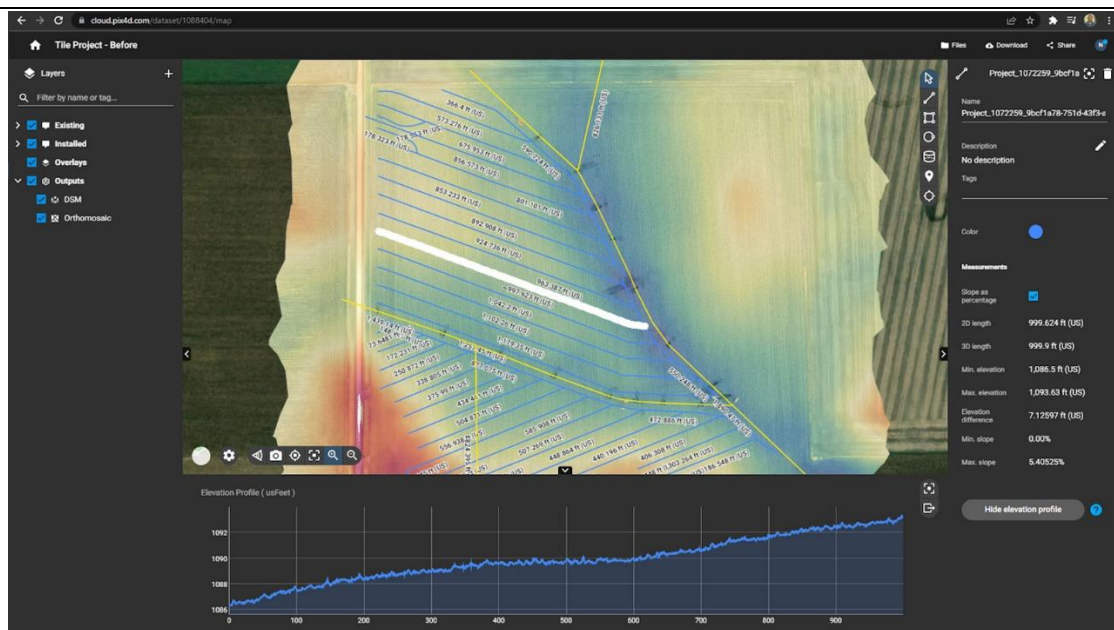


Фото: Проект дренажу, завантажений на PIX4Dcloud.

Лінії анотацій показують старі дренажні плити (жовтий колір) порівняно з новими (синій колір).

Джерело фото: <https://www.pix4d.com/blog/pix4dfields-accurate-processing/>

Перевірка результатів цифрового агроскаутингу

Виїзд у проблемні зони, перевірка причин аномалій:

- Зіставлення індексних карт із реальним станом рослин у полі.
- Уточнення проблем які спостерігаються на ділянках: посуха, хвороба, механічні пошкодження, дефіцит поживних речовин, тощо.
- Формування корегуючих технологічних операцій, після їх виконання здійснення перевірок.

Поширені помилки:

- Неякісна зйомка (низьке перекриття, тіні, пил) → помилки у мозаїці.
- Відсутність калібрування → індекси некоректні.
- “Сирі” дані не перевірені в полі → хибні агрорішення.
- Зберігання даних лише на одному комп’ютері → ризик втрати.

Спеціалізовані програми:

Сучасні програми геоінформаційного аналізу, такі як **QGIS**, **Google Earth Engine** і спеціалізовані плагіни (SCP, SentinelHub, Mapflow), відкривають широкі можливості для **обробки та інтерпретації даних дистанційного зондування**. Вони дозволяють поєднувати супутникові та аерофотознімки, виконувати класифікацію земного покриття, розраховувати вегетаційні індекси (NDVI, SAVI, NDRE) і створювати карти стану рослинності. Особливістю цих інструментів є те, що вони забезпечують **автоматизацію рутинних процесів**, зменшують похибки ручного аналізу й значно пришвидшують отримання результатів для агрономічних рішень.

У поєднанні з аналітичними надбудовами, як-от **Data Plotly** чи **qgis2web**, користувач отримує можливість **візуалізувати зміни у просторі та часі**, будувати інтерактивні карти та ділитися результатами онлайн. Такі системи перетворюють первинні дані з БПЛА чи супутників на зрозумілі індикатори стану ґрунту, рослин і довкілля, створюючи основу для **прецизійного (точного) землеробства**. Їхнє впровадження сприяє переходу від епізодичних спостережень до **системного моніторингу агроландшафтів**, що підвищує ефективність управління виробництвом.

Важливо пам’ятати: Якісна обробка та інтерпретація даних — це міст між “цифровими” знімками та реальними агротехнологічними рішеннями. Саме на цьому етапі визначають, які ділянки потрібно підживлювати, де лікувати, а де планувати пересів.

7. Штучний інтелект й машинне навчання

Штучний інтелект (ШІ, AI) — це комплекс програмних і математичних технологій, здатних **аналізувати великі масиви даних, виявляти приховані закономірності, робити прогнози та приймати рішення**, які часто недосяжні для людини через обсяг або складність інформації.

На відміну від традиційних алгоритмів, які діють за чітко заданими правилами, ШІ може адаптуватися та вдосконалюватися, “вчитися” на нових даних і підлаштовувати моделі аналізу під змінні умови.



Ринок штучного інтелекту в агро зростає до 4,7 млрд. доларів США у 2028 році



Джерело: <https://agriteka.com/2446-rinok-shtuchnogo-ntelektu-v-agro-zroste-do-47-mlrd-dolarv-ssha.html>

Машинне навчання (ML) — ключовий підрозділ ШІ, що дозволяє системам **самостійно підвищувати точність аналізу на основі накопиченого досвіду**.

Принцип роботи полягає у побудові математичних моделей, які “навчаються” на історичних даних, а потім використовуються для аналізу нових випадків.

Сучасні БПЛА та супутники генерують мільйони пікселів і тисячі гектарів даних за один політ. Людина не може в ручному режимі аналізувати такі обсяги.

Саме тут і потрібні автоматизовані алгоритми ШІ/AI для:

- автоматичної обробки знімків,
- розпізнавання типу культур, бур'янів, шкідників,
- класифікації стану посівів,
- прогнозування врожайності,
- аналізу змін за роки.

Де використовують ШІ/AI у дистанційному моніторингу?

Автоматична класифікація стану рослин

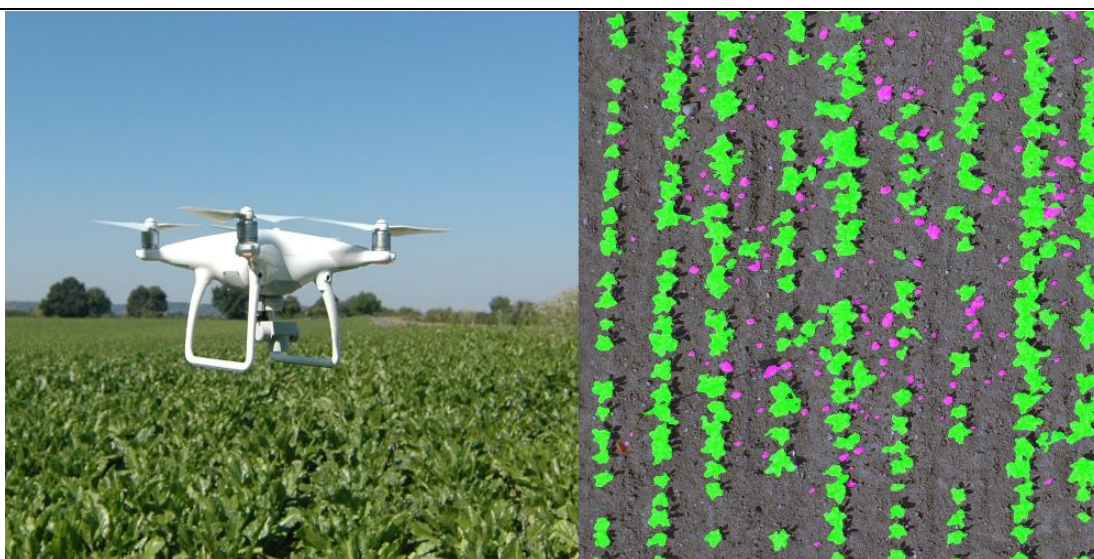
- Аналіз індексних карт (NDVI, GNDVI, NDRE) та спектральних характеристик.
- ШІ/AI розпізнає зони стресу, хвороб, дефіциту живлення без “ручного” обводу.

- Дає можливість автоматично сегментувати карту поля за типом стану рослинності.

«Використання глибоких нейронних мереж дозволяє автоматично класифікувати ділянки поля за рівнем розвитку, щільністю сходів, наявністю бур'янів чи ураженням хворобами, базуючись на навчанні на архівних знімках і зразках.»
[ст. 87]

Розпізнавання бур'янів та шкідників

- Дрони з RGB- або мультиспектральними камерами можуть “побачити” бур'яни навіть у фазі сходів.
- ШІ/AI виділяє “підозрілі” ділянки, агроном отримує карту для точкового внесення гербіцидів.
- Аналогічно працює виявлення плям хвороб, локалізація колоній шкідників.



Приклад виявлення бур'янів на поле — символізовані зеленим і фіолетовим кольорами ділянки, контраст біля культурних рослин.

Джерело фото: <https://www.ipb.uni-bonn.de/wp-content/papercite-data/pdf/lottes17icra.pdf>



Технологія дистанційного визначення бур'янів



Джерело: <https://propozitsiya.com/articles/ahrobiznes/tekhnolohiyi-dystantsiynoho-vyznachennya-buryaniv>

Прогнозування врожайності

- Алгоритми машинного навчання аналізують дані за кілька років, враховують погодні фактори, стан ґрунтів, типи гібридів.
- За індексами, супутниковими чи аеро-даними робиться прогноз врожайності по ділянках.

Оптимізація агротехнологій

- Алгоритми ШІ/АІ знаходять закономірності між технологічними операціями, ґрунтовими умовами та результатом.
- Агроном отримує рекомендації: де збільшити норму добрив, де змінити гібрид, а де внести пестициди.



Джерело: <https://www.facenews.ua/press/2024/526156/>

Важливо пам'ятати: Штучний інтелект — це новий рівень агромоніторингу. Він дозволяє бачити невидимі закономірності, робити прогнози та приймати рішення швидко й ефективно, навіть на величезних площах. Важливо проводити додаткову перевірку даних, щоб уникнути неточностей та помилок.

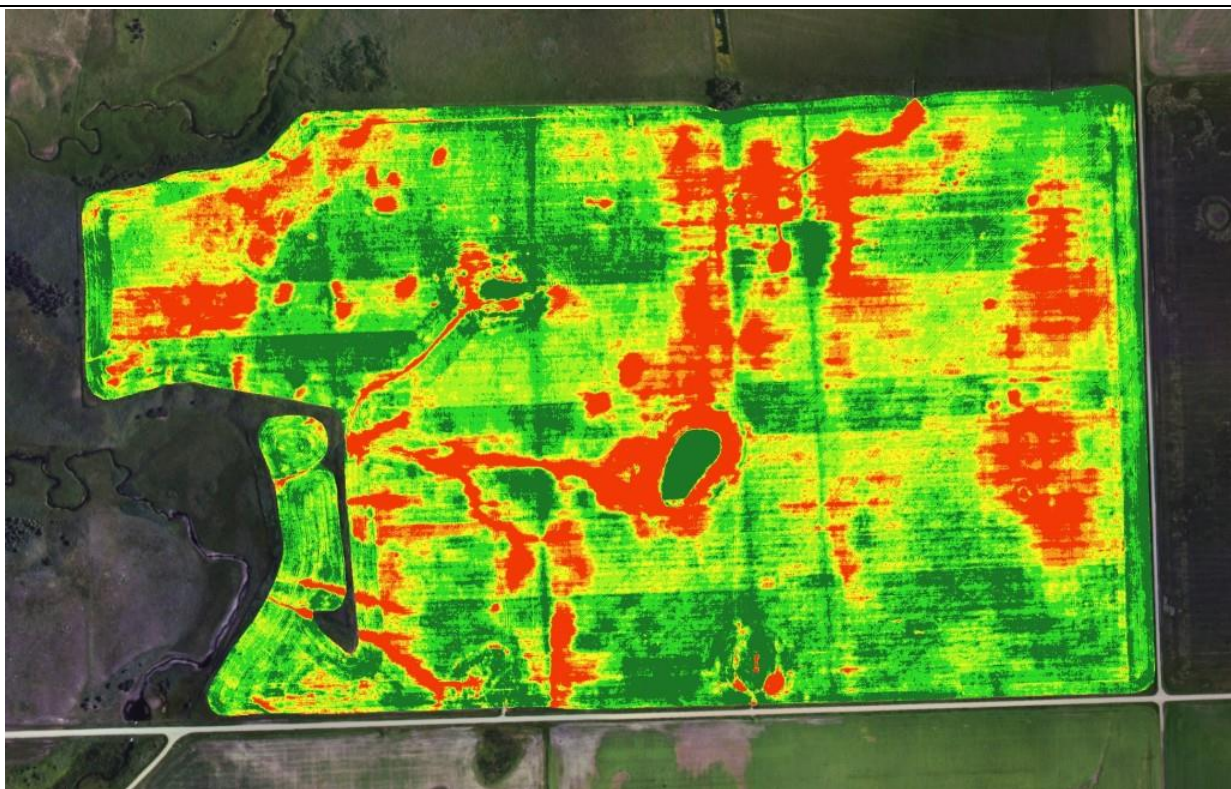
8. Тепловізійний моніторинг у агрономії

Тепловізійний моніторинг — це дистанційне вимірювання температури поверхні рослин, ґрунту або інших об'єктів за допомогою тепловізорів — спеціальних камер, чутливих до інфрачервоного (ІЧ) випромінювання. На відміну від звичайних RGB- або мультиспектральних камер, тепловізори фіксують не відбиття світла, а власне теплове випромінювання об'єкта.

Результатом такої зйомки є **“теплова карта поля”** — кольорова візуалізація розподілу температур, де кожна ділянка має свій температурний індекс.

Важливо:

- Кожен об'єкт випромінює тепло — у вигляді інфрачервоних хвиль.
- Тепловізор фіксує енергію й формує зображення, де різні температури відображаються різними кольорами (зазвичай: синій — холодніше, червоний — гарячіше).
- Застосовують як окремі тепловізори (ручні або встановлені на техніку), так і дрони з тепловізійною камерою.



Джерело фото: <https://abzdrone.com/blog/how-a-thermal-camera-can-help-your-farming/?lang=en>

Тепловізійний моніторинг дозволяє: виявляти приховані проблеми, які ще не проявилися у видимому спектрі — наприклад, **водний стрес, ураження кореневої системи, нестачу поживних речовин** або **ураження хворобами**. Рослини, що зазнають стресу, зазвичай нагріваються швидше через зменшення транспірації (випаровування води через листя), і на теплових знімках це помітно як **“гарячі плями”**

Виявлення водного стресу у рослин

- За дефіциту води температура листків підвищується (менше випаровування, гірше охолодження).
- На тепловізійній карті такі ділянки стають “гарячими плямами” — сигнал для оперативного поливу чи аналізу причин.

«Тепловізори дозволяють оцінити температурні аномалії на полі, виявити локальні ділянки з недостатнім водозабезпеченням ще до візуальних проявів стресу.»

[ст. 121]

Оцінка ефективності і рівномірності поливу

- Тепловізор допомагає виявити “сухі” та “перезволожені” ділянки, нерівномірність роботи зрошувальної системи.
- Знижується перевитрата води, підвищується врожайність.

Діагностика хвороб та ушкоджень

- Уражені хворобою чи шкідниками рослини часто мають іншу температуру, ніж здорові.
- Дозволяє локалізувати початкові осередки фузаріозу, гнилі, пошкодження коренів.

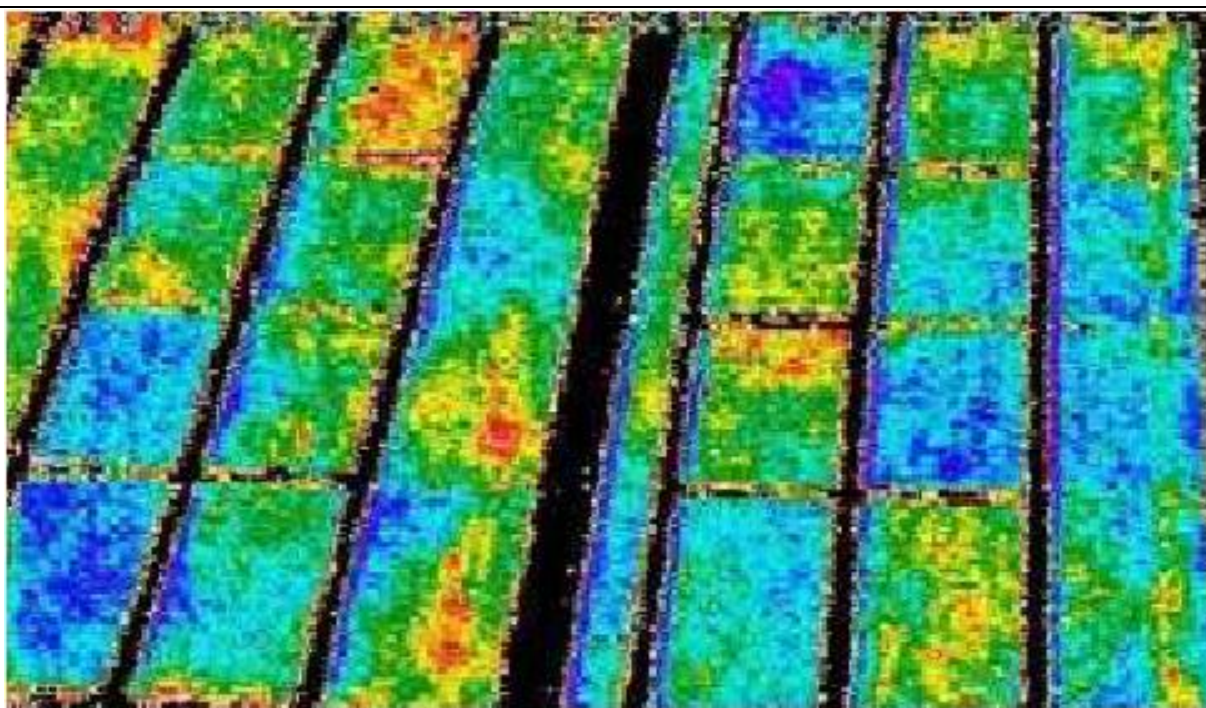


Фото: Вміст води на сільськогосподарських культурах за допомогою тепловізійного дослідження

Джерело фото: https://www.researchgate.net/figure/Water-content-of-crop-fields-with-thermal-imaging-Anonymous-2001_fig8_277306789

Аналіз стану ґрунту та мульчі

- Вимірювання температури ґрунту (перед посівом, після обробки) — оцінка готовності до висіву, ризиків заморозків.

- Виявлення зон ущільнення, неравномірного покриття мульчею.

Послідовність дій при телевізійному моніторингу:

1. Вибір пристрою:

- Ручний тепловізор: Fluke, Testo, Seek Thermal.
- БПЛА із тепловізійною камерою: DJI Mavic 2 Enterprise Dual).

2. Планування зйомки:

- Вибір оптимального часу для проведення скаутингу, оптимально — у безхмарну, суху погоду, в середині дня, щоб уникнути конденсату.
- Формування плану маршруту для дрона, висоту польоту, щільність кадрів.

3. Збір і обробка даних:

- Створення температурних карт у відповідних програмах: Pix4D, DJI Terra, Agisoft Metashape.
- Порівняння із мультиспектральними картами для оцінки стану.

4. Інтерпретація:

- Виявлення “гарячих зон” — причини можуть бути різні: дефіцит вологи, хвороби, механічні пошкодження, погане коріння.
- Проведення польового виїзду на ділянки де виявлені проблеми. Прийняття рішення для корегування проблеми.

Типи тепловізорів та їх застосування

Ручні тепловізори — це компактні портативні пристрої, схожі на фотокамеру або навіть смартфон із ІЧ-датчиком. Вони дозволяють виконувати **точкові або вибіркові вимірювання температури** на об’єктах — листках рослин, стеблах, поверхні ґрунту, обладнанні або тваринах. Такі прилади особливо корисні для **локальної діагностики** у теплицях, дослідних ділянках, агрохімічних лабораторіях та під час виїзних обстежень.

Тепловізори, інтегровані у дрони (БПЛА) - тип сенсорів призначений для **масштабного аеротермального моніторингу** — отримання температурних карт великих площ (від кількох до сотень гектарів) із точним геоприв’язуванням до координат. Тепловізори встановлюються на мультикоптерах або літакових БПЛА з системами стабілізації (gimbal) та автоматичним записом телеметрії (GPS, IMU, висота).

Тепловізійні модулі, інтегровані в сільськогосподарську техніку – стаціонарні або напівстаціонарні ІЧ-модулі, змонтовані на тракторах, комбайнах, обприскувачах або роботизованих системах. Вони дозволяють здійснювати **моніторинг у реальному часі під час роботи техніки**, зокрема контролювати температуру ґрунту, листового покриття або агрегатів машин.



Фото: Ручний тепловізор.

Джерело фото: <https://www.camerarock.com/wp-content/uploads/2024/08/800x800-4-1-600x600.jpg>



Фото: Телевізор на БПЛА

Джерело фото: <https://www.droneblog.com/wp-content/uploads/2022/08/Drones-and-Thermal-Imaging-Explained-for-Beginners-960x640.jpg>

Ключові характеристики тепловізорів

- **Діапазон вимірювання температур:** більшості сучасних моделей достатньо для агровимірювань (від -20°C до $+150^{\circ}\text{C}$).
- **Теплова чутливість (NETD):** чим менше значення (наприклад, $<0,05^{\circ}\text{C}$), тим чутливіший прилад — можна “ловити” найменші/АІ відмінності температур між рослинами.
- **Просторова роздільна здатність:** чим більше пікселів у матриці (наприклад, 320×240 , 640×480), тим детальніша карта температури.
- **Інтеграція з GPS:** дозволяє прив’язати дані до конкретних координат на полі для точного аналізу.

Важливо пам’ятати: Тепловізійний моніторинг — це “раннє попередження” для агронома. Він дозволяє реагувати на стрес-фактори ще до втрати врожаю, оптимізувати ресурси, підтримувати рослини в максимальній формі.

9. Візуалізація результатів і прийняття рішень

Візуалізація виступає засобом комунікації між числовими даними та практичними потребами агровиробництва. Навіть найточніші дані дистанційного моніторингу, отримані із застосуванням штучного інтелекту, набувають цінності лише за умови їхньої зрозумілої подачі, легкості інтерпретації та здатності оперативно забезпечувати ухвалення обґрунтованих управлінських рішень агрономами чи менеджерами.



Фото: Обліт перед посівом. Зверніть увагу на розподіл вологи на полі

Джерело фото: <https://www.smartfarming.ua/drony-i-suputnyky-monitorynh-stanu-posiviv-vprodovzh-sezonu/>

Основні форми візуалізації в агромоніторингу

1. Кольорові індексні карти (NDVI, GNDVI, температурні тощо)

Кольорові індексні карти — це найпоширеніший спосіб подання результатів дистанційного моніторингу, який дозволяє **перетворити спектральні дані на наочну просторову картину стану поля**.

На таких картах кожен піксель відповідає певній точці поля та містить значення вибраного індексу чи показника (NDVI, GNDVI, NDRE, температурний індекс тощо).

- **Стандартна “теплова шкала”** використовується для швидкого візуального розпізнавання зон із різним станом рослинності:
 - **Червоний / Жовтий** — ділянки стресу, ураження хворобами, дефіциту води або поживних речовин, пошкодження після граду чи буревію.
 - **Зелений / Синій** — здорова, активна рослинність із високим рівнем фотосинтетичної активності.
- **Точність і деталізація:** кожен піксель карти є своєрідною **“адресою” стану культури на момент зйомки**, що дозволяє агроному локалізувати проблеми з точністю до кількох метрів (для дронів) або десятків метрів (для супутників).

2. Ортофотоплани (склеєні аерознімки): геоприв'язані, масштабовані карти — дозволяють аналізувати зміни за часом (наприклад, порівняння до та після обробки). **Геоприв'язані, масштабовані зображення поля,** створені шляхом об'єднання десятків або сотень знімків, отриманих з дрона чи літака. Завдяки геоприв'язці кожен елемент ортофотоплану відповідає точним координатам місцевості, що дозволяє проводити вимірювання відстаней, площ і координат об'єктів без виходу в поле. Ортофотоплани особливо корисні для **порівняльного аналізу у часі** — наприклад, “до” і “після” внесення добрив, поливу, обробки ЗЗР або стихійних явищ (град, буревій, підтоплення).

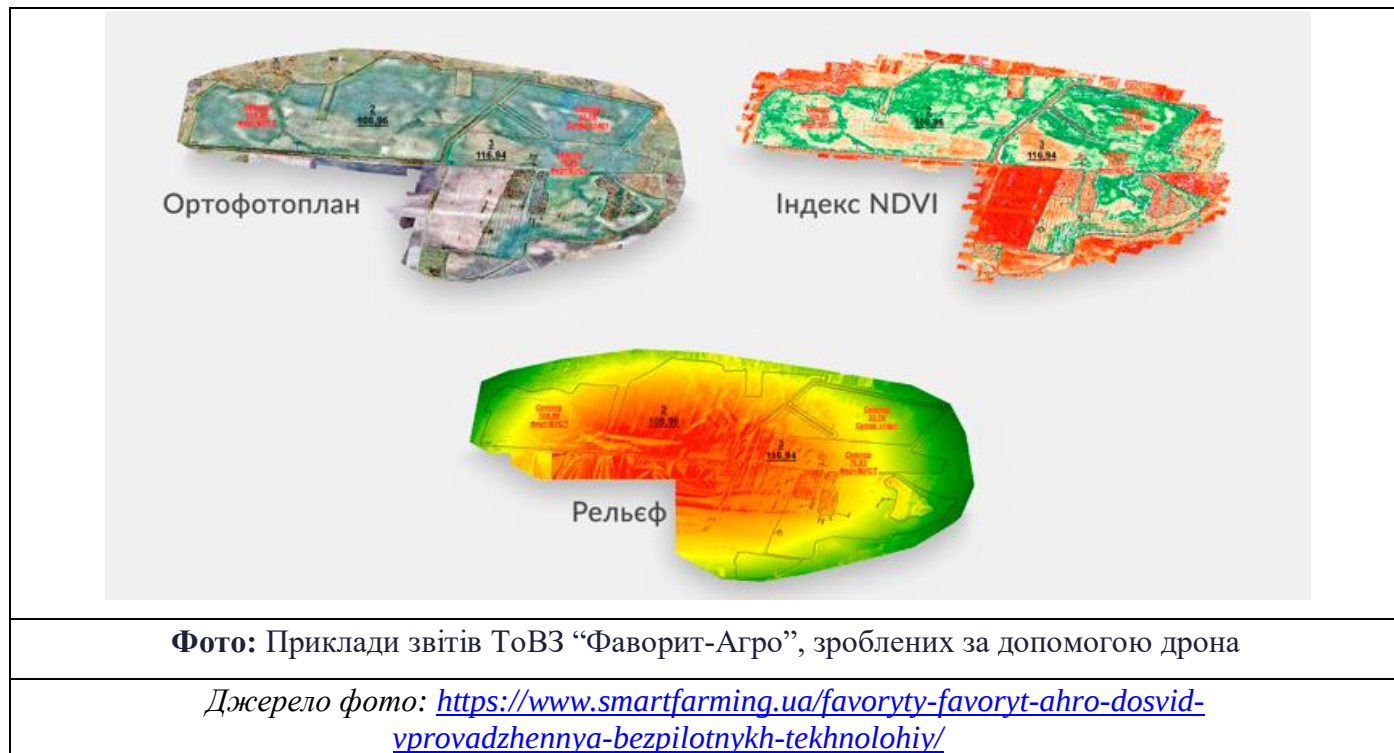
1. **3D-моделі поверхні:** дає змогу бачити рельєф, уклін, мікрозниження, локальні западини, що впливають на розвиток культури, відтворити рельєф і мікрорельєф поля з точністю до сантиметрів. Показують мікрозниження та локальні западини, які можуть впливати на накопичення чи стік води, формування застійних зон або ерозійних процесів. Використовуються для **планування меліорацій, зрошення, розробки дренажних систем** та аналізу впливу рельєфу на ріст культур.
2. **Діаграми, графіки, статистичні зведення:** Автоматичний підрахунок площ проблемних зон. Динаміка зміни індексів за сезоном, між роками. Автоматично підраховують площі проблемних зон (наприклад, відсоток поля з NDVI нижче заданого порогу). Будують графіки динаміки зміни індексів протягом сезону або між різними роками. Дають змогу проводити **кореляційний аналіз** між вегетаційними індексами, погодними даними та врожайністю.
3. **Звіти для господарства:** Готові PDF або інтерактивні веб-звіти для менеджерів, інвесторів, страховиків. Формуються у вигляді **готових PDF-документів** або інтерактивних **онлайн-звітів** з інтегрованими картами, графіками та аналітичними висновками. Можуть містити рекомендації щодо внесення добрив, графіки поливу, план робіт, прогноз врожайності. Використовуються для внутрішньої комунікації між агрономами та менеджментом, а також для звітності перед інвесторами, страховими компаніями та регуляторними органами.

Сучасні інструменти для візуалізації

- **Pix4D, DroneDeploy, Agisoft Metashape:** будують карти та 3D-моделі із знімків дронів.
- **EOS Crop Monitoring, OneSoil, Climate FieldView:** онлайн-платформи для інтеграції супутникових та аеро-даних.
- **QGIS, ArcGIS:** професійні ГІС-системи для комплексного аналізу, поєднання різних шарів (грунт, агротехніка, індекси).

«Використання ГІС-систем та інтерактивних платформ дозволяє поєднувати агрономічну, технологічну та економічну інформацію для побудови комплексних карт рішень.»

[ст. 87]



Прийняття рішень на основі візуалізації

Візуалізація даних дистанційного моніторингу перетворює зібрану інформацію на **конкретні дії у полі**, що безпосередньо впливають на врожайність і економічну ефективність господарства

1. Зонування поля для диференційованих робіт

На основі індексних карт (NDVI, GNDVI, NDRE, температурних тощо) автоматично формуються **карти-завдання** для техніки з підтримкою **VRA (Variable Rate Application)**.

Такі карти дозволяють:

- **Диференційовано вносити добрива** з урахуванням стану рослин у кожній ділянці поля.
- **Проводити підживлення** лише там, де рослини відчувають дефіцит поживних речовин.
- **Точково застосовувати засоби захисту рослин (ЗЗР)** у зонах виявленого стресу, замість обробки всього поля.
- **Виконувати додатковий полив** у ділянках з ознаками водного дефіциту.

2. Планування обстеження й лабораторних аналізів

Зони з низькими значеннями NDVI або аномальною температурою маркуються на карті та експортуються у GPS-навігатори для **точного виїзду агронома** на місце. Такий підхід забезпечує **адресну діагностику проблем**, а не випадковий відбір проб

У цих ділянках проводять:

- **Візуальний огляд** рослин на предмет стресу, шкідників чи хвороб.
- **Відбір зразків ґрунту** для агрохімічного аналізу (азот, фосфор, калій, рН, мікроелементи).

- **Відбір рослинних зразків** для визначення дефіциту поживних речовин чи наявності патогенів.
- **Аналіз води** у зрошуваних зонах.

3. Оцінка ефективності проведених заходів

Порівнюють карти “до” і “після” технологічної операції (наприклад, підживлення, внесення ЗЗР або поливу) для об’єктивної оцінки впливу на стан рослин.

- Визначають **динаміку змін індексів** та співвідносять їх із польовими спостереженнями.
- Розраховують **економічний ефект**: Вартість проведеного заходу. Приріст врожайності або зменшення втрат.
- Формують **звіти для керівництва, інвесторів чи страхових компаній** з картами, графіками та висновками.

4. Практичне застосування безпілотних технологій в аграрному секторі України

Представлено серію відеоінтерв’ю з провідними фахівцями аграрної галузі, представниками бізнесу, дорадчих служб та освітніх установ, які діляться досвідом використання безпілотних літальних апаратів (БПЛА) в сільському господарстві. Матеріали ілюструють широке коло застосувань агродронів — від моніторингу стану посівів і точного внесення засобів захисту до освітніх ініціатив і цифровізації виробництва. Інтерв’ю дають змогу простежити сучасні тенденції, технологічні підходи та актуальні виклики у впровадженні БПЛА на практиці.

1. Микола Черняк, засновник компанії AGRONIX

□ https://youtu.be/_HqQ7dgraI0

Представлено інтерв’ю з Миколою Черняком — засновником компанії «Агрокс», одним із провідних фахівців у сфері ультрамалооб’ємного внесення пестицидів за допомогою агродронів в Україні. У розмові Черняк розповідає про становлення власного бізнесу, розвиток технології агродронів із 2021 року та напрями діяльності компанії: внесення пестицидів і продаж агродронів. Він пояснює, що робота з дронами потребує глибокої експертизи — від агрономії та фізики до менеджменту й економіки, адже ефективне застосування пов’язане з фізикою руху краплі, погодними умовами та організацією команди. Компанія також розробляє допоміжне обладнання — змішувальні станції, генератори, причепи, а в дослідницькому напрямі співпрацює з великими компаніями (BASF, FMC, Bayer). Черняк підкреслює, що агродрони — це не заміна обприскувачів, а окремий ефективний інструмент для малих і середніх фермерів, який дозволяє оптимізувати витрати, підвищити точність і зменшити ризики. Він також наголошує на важливості освіти та підготовки нових фахівців, які мають не лише володіти фактами, а й уміти шукати та впроваджувати нові знання в умовах стрімкого технологічного розвитку.

2. Микола Гадіцький, керівник фермерського господарства «Золота Рибка»

□ <https://youtu.be/u2EoH5tmG1E>

Інтерв’ю з фермером Миколою Гадіцьким, власником господарства «Золота Рибка»

(Миколаївська область), яке провів консультант програми «Агро» Микола Бико. У розмові фермер ділиться практичним досвідом використання агродронів для обробки 1200 га сільськогосподарських угідь. Зокрема, він розповідає про заміну традиційного обприскувача на дрон AGRAS T50, що дозволило ефективно вносити пестициди, гербіциди та фунгіциди без утворення колій, знизити витрати й підвищити продуктивність. Гадіцький пояснює організаційні аспекти роботи, створення карт полів і мобільну систему заправки, підкреслюючи, що дрони стали реальним інструментом підвищення ефективності, безпеки та економічності агровиробництва.

3. Віталій Воронцов, голова громадської спілки «Зелені Агро Рішення»

□ <https://youtu.be/A1Phx4iT5Xs>

Інтерв'ю з представником громадської спілки «Зелені Агро Рішення», яка є сільськогосподарською дорадчою службою. У розмові фахівець ділиться досвідом використання БПЛА в роботі дорадників, агрономів та фермерів. Основну увагу приділено застосуванню навіть найпростіших моделей дронів — таких як DJI Mavic — для інженерного та аграрного скаутингу.

Спікер демонструє приклади зйомки тепличного комплексу й саду фундуку, показуючи, як дрон дозволяє здійснювати огляд території, контролювати виконання робіт, вести фотофіксацію об'єктів і виявляти технічні проблеми чи зміни в інфраструктурі. Такий підхід допомагає планувати розміщення теплиць, водойм, комунікацій, відстежувати хід будівництва або догляду за насадженнями. Наголошується, що БПЛА — це доступний інструмент для кожного аграрія, який дає змогу швидко отримати точну візуальну інформацію без спеціальної підготовки. Також підкреслюється важливість включення базових навичок керування БПЛА до освітніх програм аграрних університетів — вміння працювати з дроном стає таким самим необхідним, як користування смартфоном.

4. Анатолій Безолюк, керівник агронапрямку міжнародної групи компаній DroneUA

□ <https://youtu.be/GQN-uQOMIkk>

Інтерв'ю з Анатолієм Безолюком, керівником агронапрямку міжнародної групи компаній DroneUA. У бесіді розглянуто розвиток і впровадження безпілотних технологій у сільському господарстві України, досвід компанії DroneUA та її внесок у цифровізацію агросектору. Анатолій розповідає про становлення компанії, співпрацю з виробником XAG, створення мережі лабораторій і навчальних центрів у вищих та професійно-технічних закладах, а також про підготовку операторів агродронів. Значну увагу приділено розвитку агроскаутингу, цифровому картуванню полів і використанню програмного забезпечення Pix4D для диференційованого внесення препаратів.

Спікер наголошує, що агродрони — це не заміна обприскувачів, а окремий технологічний інструмент, який забезпечує гнучкість, точність і економічність у виконанні агрооперацій. Він прогнозує, що після завершення війни кожне друге господарство матиме дрон для скаутингу, а кожне третє — продуктивний агродрон. Також підкреслюється важливість підготовки фахівців нового покоління, здатних інтегрувати цифрові технології у виробництво та професійно керувати агродронами.

5. Радіон Сорока, керівник компанії «Дрон Агрофлот»

□ <https://youtu.be/EcA7zLiK2Lo>

Інтерв'ю з Радіоном Сорокою, представником компанії «Дрон Агрофлот». У розмові обговорюється розвиток технологій агродронів в Україні, їх роль у точному землеробстві та підготовці нових фахівців аграрної сфери. Спікер розповідає про діяльність компанії — від імпорту та продажу агродронів до навчання пілотів, технічного обслуговування й надання послуг із внесення пестицидів, добрив і трихограми. Наразі компанія має понад 60 дронів, якими оброблено понад 500 тисяч гектарів сільськогосподарських площ.

Радіон підкреслює, що агродрони — це майбутнє агровиробництва, особливо для малих і середніх господарств. Вони дозволяють ефективно виконувати десикацію, вносити фунгіциди, інсектициди, добрива та біологічні засоби захисту. Окремо він наголошує на розвитку агромоніторингу й NDVI-картування, які дають змогу аналізувати стан посівів і приймати точні рішення щодо внесення препаратів.

Також розглядається перспектива застосування дронів у садівництві, виноградарстві та овочівництві — там, де техніка не завжди має доступ до полів. Радіон звертає увагу на дефіцит підготовлених кадрів і закликає аграрні заклади активніше впроваджувати курси з використання дронів. За його словами, навчання керуванню агродронами можливе без значних труднощів, а молоді фахівці мають широкі можливості для кар'єрного зростання в цій інноваційній сфері.

6. Компанія Corteva Agriscience

Максим Байдюк — керівник підрозділу продуктової агрономії та технічної підтримки ключових клієнтів;

Богдан Красюк — фахівець із цифрового напрямку

□ <https://youtu.be/7wEljit8eSk>

Інтерв'ю з Максимом Байдюком, керівником підрозділу продуктової агрономії та технічної підтримки ключових клієнтів компанії «Corteva Agriscience», і Богданом Красюком, фахівцем із цифрових технологій тієї ж компанії. Спікери діляться досвідом впровадження безпілотних літальних апаратів (БПЛА) у системи точного землеробства.

Максим Байдюк розповідає, як компанія з 2019 року розвиває використання дронів для польових спостережень, аналізу густоти стояння рослин, діагностики проблем і навіть внесення засобів захисту. Богдан Красюк наголошує на ключовій ролі аналітичної обробки даних, отриманих із дронів: 80% ефективності залежить не від польоту, а від уміння працювати з програмним забезпеченням для обробки знімків, картографування, створення NDVI-індексів і цифрових карт завдань.

Учасники інтерв'ю підкреслюють, що сучасний агроном має бути комплексним фахівцем — поєднувати знання класичної агрономії з володінням цифровими інструментами. Наводяться приклади використання БПЛА для підрахунку густоти посівів, аналізу вегетаційних індексів, створення карт продуктивності полів і диференційованого висіву. Дрони також допомагають виявляти осередки хвороб і шкідників, контролювати ефективність сівалок, оптимізувати витрати засобів захисту та добрив.

На завершення експерти рекомендують аграрним навчальним закладам включити курси з роботи з БПЛА та цифровою аналітикою до навчальних програм, навчати студентів базовим

агрономічним принципам, технологіям точного землеробства та навичкам роботи з програмами для обробки геопросторових даних. За їх словами, дрони в аграрній освіті — не майбутнє, а вже необхідна складова підготовки сучасного агронома.

7. Олександр Зозуля, керівник групи технічних експертів компанії «Сингента», кандидат біологічних наук

□ <https://youtu.be/bXtlhVGbL2U>

Інтерв'ю з Олександром Зозулею, керівником групи технічних експертів компанії «Сингента». Розмова присвячена розвитку цифрових технологій у сільському господарстві, зокрема використанню безпілотних літальних апаратів (БПЛА) для моніторингу посівів і внесення засобів захисту рослин.

Олександр Зозуля, який має понад 30 років досвіду в аграрній науці та виробництві, ділиться практичними напрацюваннями компанії у впровадженні точного землеробства. Він пояснює, що дрони стають ключовим інструментом агроскаутингу — дозволяють швидко діагностувати стан рослин, оцінювати забур'яненість, рівень стресу культур, ураження хворобами та інші показники.

Спікер розповідає про дослідження компанії щодо використання дронів для обприскування й розробку методики повітряного внесення препаратів, створеної у співпраці з партнерами.

Також компанія тестує наземні дрони, спектральні й тепловізійні камери, а також використовує цифрові інструменти для аналізу ґрунту, визначення вмісту карбону, вегетаційних індексів і фізіологічного стану рослин.

На думку експерта, майбутнє агровиробництва — за поєднанням штучного інтелекту, аналітики та дистанційного моніторингу, що дозволить зменшити витрати на засоби захисту та підвищити ефективність управлінських рішень. Олександр також наголошує на необхідності оновлення навчальних програм аграрних університетів: майбутні фахівці мають не лише вміти керувати дронами, а й розуміти, як аналізувати отримані дані, створювати карти завдань і приймати рішення на основі цифрових інструментів.

10. Агроскаутинг в індикативному бюджетуванні: нові підходи до підвищення ефективності управління ресурсами підприємств

Сучасний етап розвитку економіки сільського господарства зумовлює високі вимоги до оцінки ефективності функціонування економічних систем різних рівнів. Підприємство є первинною самостійною ланкою сільського господарства, що створює конкретні економічні блага. Специфіка аграрного виробництва обумовлює потребу безперервного залучення додаткових обігових коштів і контролю за їх раціональним використанням. Особливого значення це питання набуває для великих компаній з потужним приватним капіталом, які мають у своєму користуванні значні земельні масиви, територіально розміщені в різних регіонах, що ускладнює процес управління та вимагає залучення прогресивних систем і методів управління ними.

Прибуток є головним економічним показником діяльності підприємства в умовах ринку. Він залежить від витратної частини, тобто від уваги кожного спеціаліста на робочому місці. З метою запобігання понаднормовим витратам протягом бюджетного періоду проводиться періодичний моніторинг поточної діяльності підприємства шляхом порівняння об'ємів витрат із бюджетними стандартами.

Бюджетування – технологія фінансового планування, обліку й контролю доходів і витрат, отриманих від діяльності підприємства (компанії, холдингу) на всіх рівнях управління, котра допомагає аналізувати прогнозовані й отримані фінансові показники по кожному з центрів фінансового обліку в рамках затвердженої фінансової структури підприємства. Це невіддільний компонент складання виробничо-фінансових планів діяльності підприємства. Метою запровадження системи бюджетування є максимізація прибутку завдяки формулюванню цілей і шляхів їх вирішення, посиленню контролю за витратами, підвищенню ефективності використання наявних ресурсів, розвитку найефективніших напрямів господарської діяльності, підвищенню фінансової обґрунтованості управлінських рішень, оптимізації грошових потоків, раціональному перерозподілу ресурсів між різними видами діяльності.

В умовах цифрової трансформації особливої ваги набувають системи, що поєднують технологічні дані з фінансово-економічними рішеннями. Однією з таких систем є агроскаутинг – інструмент моніторингу стану посівів і земель, який забезпечує оперативне отримання аналітичної інформації для планування та бюджетування. Поєднання агроскаутингу з системою бюджетування створює підґрунтя для індикативного управління, коли виробничі й фінансові рішення базуються на поточних даних із полів, а не лише на планових показниках.

Тріада «Бюджетування – Агроскаутинг – Управління» утворюють єдину управлінську систему. Взаємодія між ними забезпечує замкнений цикл управління ресурсами, в якому кожне рішення спирається на актуальні аналітичні дані. Агроскаутинг формує новий рівень точності планування та бюджетного контролю. Використання БПЛА допомагає оперативно оцінювати стан посівів й ухвалювати рішення, що зменшують фінансові ризики. Інтеграція даних агроскаутингу в систему бюджетування забезпечує гнучкість, точність й ефективність управління. Такий підхід сприяє переходу агропідприємств до цифрового фінансового менеджменту, що відповідає вимогам сталого розвитку.

В цих умовах перед фінансово-економічною службою підприємства ставляться завдання – формування єдиної економічної політики у сферах планування, нормування, мотивації та комплексного економічного аналізу виробничо-господарської діяльності підприємства в цілому та відокремлених підрозділів зокрема, визначення шляхів підвищення ефективності й рентабельності виробництва; посилення контролю за реалізацією в проєктній документації політики ресурсо- й енергозбереження; застосування вискоєфективних технологій, обладнання, конструкцій, матеріалів, додержання загальногосподарських і галузевих норм. Одним з основних шляхів вирішення цих завдань є імплементація даних цифрового

моніторингу в діючий виробничо-фінансовий план діяльності підприємства.

Процедура складання виробничо-фінансового плану підприємства наведена на рис. 1. Виробничо-фінансовий план формується на 12 місяців із помісячною його деталізацією. Кожна служба підприємства має розкрити в ньому бачення розвитку підприємства по своєму профілю: агрономічна служба – виробничу програму з рослинництва (структуру посівних площ, посів блоками по підрозділах, систему удобрення та захисту рослин, планову врожайність, технологічні карти); інженерна служба – план оновлення техніки, план ремонтів і матеріально-технічного забезпечення виробництва; зооінженерна служба – програму розвитку тваринництва (оборот стада, потребу забезпечення власними й покупними кормами). Обов'язковими водночас є достовірність, повнота і правильність відображення інформації про ці процеси в бухгалтерському й управлінському обліку. Головний економіст є модератором процесів поряд із методичним керівництвом процесу планування. Він спільно з іншими спеціалістами підприємства здійснює узагальнення показників усіх розділів бюджету й організовує підготовчу роботу до складання зведеного бюджету, а також проводить індикативне планування – поточне внесення фактичних даних за I, II і III квартал у вихідний план із метою прогнозу фінансових результатів.

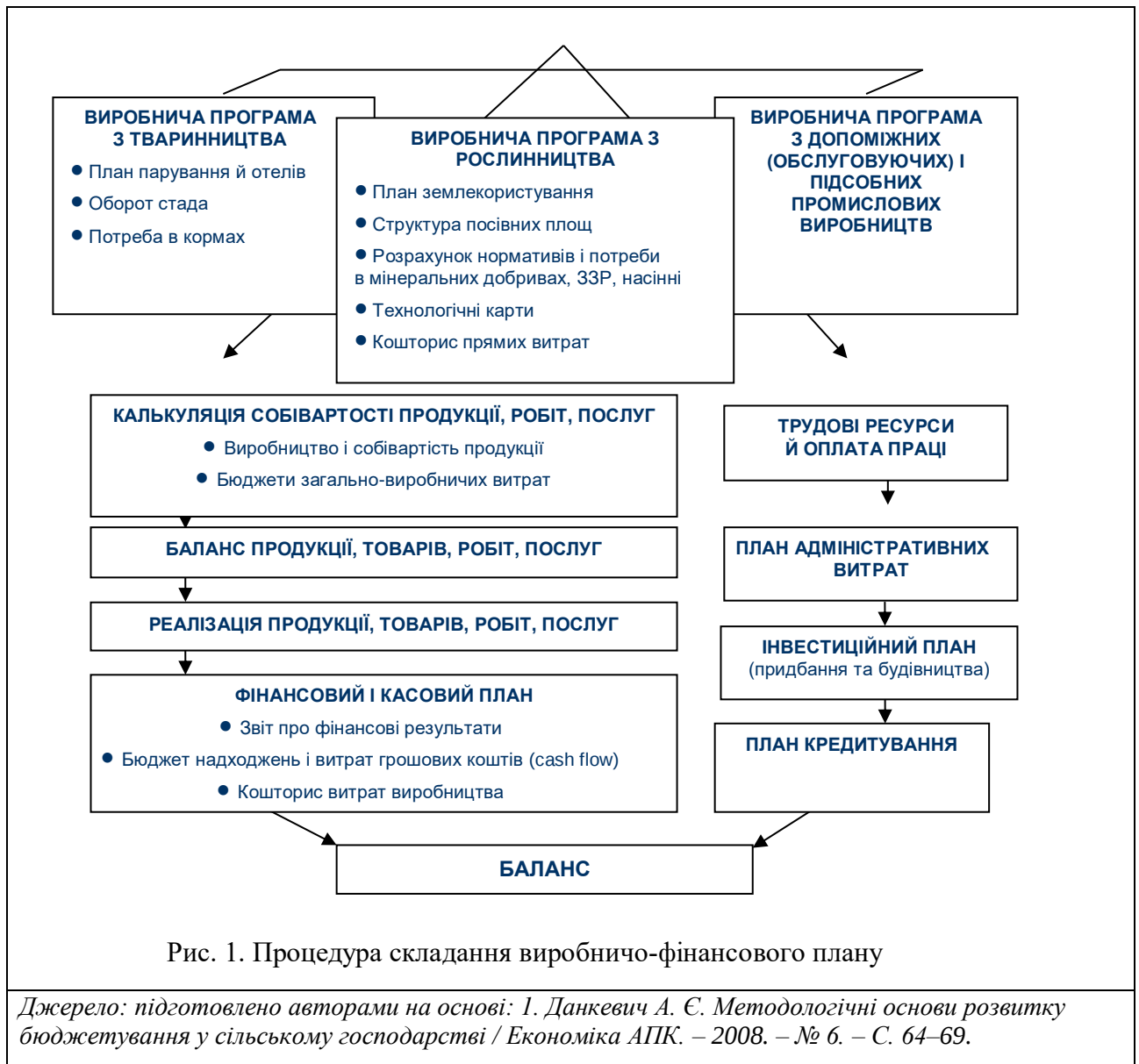
Основою будь-якого бюджету є «Виробнича програма з рослинництва». Вона відбиває: – план землекористування – планується склад і площа земельних угідь, визначається загальна кількість земель у власності й користуванні; – структуру посівних площ – позначаються площі посіву сільськогосподарських культур і питома вага кожної з них (у відсотках), далі розписується розміщення площ у розрізі сівозмін, що допомагає краще вибрати попередника і контролювати дотримання культури землеробства.

Виходячи з даних площ сівозмін планується потреба в насінні, добривах і засобах захисту рослин під кожен культуру в натуральному та вартісному вираженні як на всю площу посіву культури, так і в розрахунку на одиницю площі. Залежно від кількості понесених затрат і природно-кліматичних умов регіону планується виробниче завдання з урожайності сільськогосподарських культур.

Наступним кроком у плануванні є узагальнення попередніх даних у технологічних картах вирощування сільськогосподарських культур, на основі яких формується помісячний кошторис прямих витрат у рослинництві. Це зведена таблиця, що допомагає спланувати потребу в коштах, що будуть затрачені прямо на культури. Є вихідним для складання наступної таблиці – зведеного плану виробництва і собівартості продукції, де в консолідованому вигляді наводиться інформація про збір продукції та її собівартість у розрізі окремих культур і статей затрат. Водночас відбивається розподіл по кожній культурі між видами продукції (зерно, зерновідходи, побічна продукція) за офіційними методиками. Затрати наводяться в розрахунку на 1 тону продукції та на 1 гектар площі.

Індикативне бюджетування – це форма гнучкого бюджетування, за якої фінансові та виробничі показники не є жорстко фіксованими, а періодично коригуються на основі фактичних результатів діяльності, змін зовнішнього середовища й оновлених даних агроскаутингу. Інакше кажучи, це бюджетування з елементами прогнозування, яке поєднує планові та реальні показники для більш точного управління підприємством. Тобто ми переходимо від шаблонів і бюрократії до оперативнішого реагування на виклики й специфіку оперативної зміни умов виробництва.

Здебільшого у великих компаніях бюджетний процес розпочинається в жовтні. В грудні відбувається його захист. При закритті року в лютому вносяться корегування за фактом незавершеного виробництва. Далі відбувається помісячний план-факт аналіз дотримання бюджетних витрат.



Фактично до збирання врожаю керівництво компанії потрапляє в «сліпу зону» і не завжди, з різних причин, володіє всією повнотою інформації про стан полів. А наявна інформація здебільшого має вибірковий характер із метою прикрити ті чи інші огріхи сезону або агрономічної служби. Адже агронома передусім цікавить урожай з поля (натуральний, або валовий показник), а не прибуток. А керівнику потрібно більш чітка фінансова інформація, починаючи з площі поля: яка вона реальна (посівна), а не фізична.

Приклад: агроном засіяв 100 га. Чи розорав ще додатково 7 га біля лісосмуг, чи частина поля взагалі випала з обробітку через «лебедині озера» або погані сходи врожаю тощо. Чи доцільним є внесення тих чи інших запланованих препаратів, зокрема добрив, якщо не було опадів? Відповідно далі накладається витрата матеріально-технічних ресурсів промислового походження (добрива, ЗЗР, насіння, пальне), заробітна плата як наслідок виконання форвардних контрактів й інвестиційних програм.

«Ми заробляємо те, що ми економимо» – ця теза якраз про нашу ситуацію. Агроскаутинг дає саме ті оперативні індикатори, на яких ґрунтується гнучке бюджетування: площа, вологість, густина посівів, рівень ураження культур, NDVI-показники, прогноз урожайності. Тобто він є основним джерелом індикативних даних, що допомагають уточнювати бюджет у процесі його виконання. Наприклад, після весняного обстеження полів за допомогою БПЛА (агроскаутингу) виявлено ділянки з низькою густиною посівів. На основі цих даних

агрономічна служба вносить корективи: зменшує норми добрив на пошкоджених ділянках, перераховує очікувану врожайність, а головний економіст оновлює виробничо-фінансовий план (бюджет) з урахуванням реальної ситуації. Це і є індикативне бюджетування – коли бюджет не статичний документ, а жива модель управління. Менеджмент компанії, керуючись інформацією агроскаутингу, отриманою внаслідок аналізу й оцінки ефективності окремих галузей і підприємства загалом, здійснює управління виробничим процесом, ухвалює рішення про впорядкування фінансової документації, посилює контроль за рухом товарно-матеріальних цінностей.

Основна ідея індикативного бюджетування полягає в тому, щоб планувати діяльність на певний період (рік, сезон, квартал), відстежувати фактичні результати (виробничі, фінансові, агротехнічні), коригувати бюджет у процесі його виконання відповідно до змін (погоди, врожайності, ринкових цін, витрат тощо). Так підприємство керує бюджетом у режимі реального часу, а не лише звітує про результати після завершення року.

Таблиця 2. Трансформація системи бюджетування з елементами агроскаутингу

Ознака	Традиційне бюджетування	Індикативне бюджетування
Гнучкість	Фіксовані плани на рік	Плани змінюються в процесі
Дані для ухвалення рішень	Бухгалтерські, історичні	Оперативні, прогнозні, польові
Контроль	Реактивний (після виконання)	Проактивний (у процесі виконання)
Інструменти	Звітність, кошториси	Цифрові моделі, агроскаутинг, аналітика
Мета	Дотримання плану	Досягнення оптимального результату

Джерело: підготовлено авторами на основі:

1. Данкевич А. Є. *Методологічні основи розвитку бюджетування у сільському господарстві / Економіка АПК.* – 2008. – № 6. – С. 64–69.
2. Данкевич А. Є. *Організаційно-економічні складові раціонального господарювання / Економіка АПК.* – 2011. – № 6. – С. 22–27.

Переваги індикативного бюджетування:

- оперативність – дає змогу реагувати на зміни в реальному часі;
- точність – враховує реальні дані з виробництва;
- економічна ефективність – мінімізує перевитрати ресурсів;
- прогнозування ризиків – виявляє відхилення до того, як вони призведуть до збитків;
- синергія з цифровими технологіями – працює на основі даних агроскаутингу, ERP-систем і аналітичних платформ.

Агроскаутинг як інформаційна основа планування забезпечує господарство оперативною аналітикою про стан агроценозів: визначення зон стресу і дефіциту живлення; оцінка вологості, поширення бур'янів і шкідників; прогноз урожайності за допомогою мультиспектральних індексів (NDVI, NDRE, GNDVI). Ці дані дають змогу коригувати плани внесення добрив і ЗЗР, уточнювати потребу в паливі й техніці, моделювати реальні фінансові витрати за культурами, прогнозувати дохідність полів і визначати пріоритетні напрями розвитку. Отже, агроскаутинг стає інформаційним ядром планово-бюджетної системи, де дані з БПЛА безпосередньо впливають на структуру бюджету підприємства.

Кліматична мінливість, зміна цін і коливання врожайності потребують динамічної моделі управління. Інтеграція агроскаутингу допомагає перейти до гнучкого планування, де інформація з полів автоматично коригує бюджетні показники.

Послідовність інтеграції:

- моніторинг полів – збір даних за допомогою БПЛА;
- аналітична обробка – розрахунок індексів і побудова карт;
- передача даних у систему планування (ERP або управлінський облік);
- коригування бюджетів – автоматичне оновлення фінансових прогнозів;
- індикативний контроль – регулярне порівняння планових і фактичних даних.

У результаті підприємство отримує інтерактивний фінансовий план, що реагує на реальні зміни у виробничому середовищі.



**Рис 2. Агроскаутинг як інструмент
інноваційного управління ресурсами**

Джерело: підготовлено авторами на основі:

1. Dankevych A., Sosnovska O., Dobrianska N., Nikolenko L., Mazur Yu., Ingram K. (2021). Ecological and economic management of innovation activity of enterprises. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, 5, 112–118. DOI: <https://doi.org/10.33271/nvngu/2021-5/118>.
2. Ostapchuk, T., Orlova, K., Biriuchenko, S., Dankevych, A., & Marchuk, G. (2021). Defuzzification in the process of managerial estimating the value of agricultural lands. *Agricultural and Resource Economics: International Scientific E-Journal*, 7(4), 62-81. DOI: <https://doi.org/10.51599/are.2021.07.04.04>.
3. Denysiuk, O., Svitlyshyn, I., Tsaruk, I., Vikarchuk, O., Dankevych A. (2022). Diversification in the enterprises' activities for sustainable development in the agricultural sector. *Rivista di studi sulla sostenibilita*, Pages 18 p. 85-102, doi 10.3280/RISS2022-002007

Основні складники економічної ефективності агроскаутингу.

Рациональне використання ресурсів. Застосування NDVI-, GNDVI-, NDRE-карт дає змогу створювати карти-завдання для диференційованого внесення добрив і засобів захисту рослин. Завдяки цьому економія мінеральних добрив може становити 15–30 %, 3ЗР – 10–20 %, а паливно-мастильних матеріалів – 5–10 % (рис. 2).

Зменшення непродуктивних витрат. Раннє виявлення осередків хвороб і бур'янів дає змогу проводити локальні обробки, а не суцільне обприскування. Економія площі обробки при цьому може сягати до 40%.

Підвищення врожайності. Своєчасне виявлення проблемних зон допомагає мінімізувати втрати врожаю. У середньому впровадження систем дистанційного моніторингу забезпечує приріст урожайності на 5–15 % залежно від культури й технології.

Зниження впливу людського чинника. Автоматизація моніторингу зменшує потребу в польових інспекціях, скорочуючи витрати на оплату праці на 10–25 %.

Оптимізація страхових й управлінських рішень. Карти стану полів (NDVI, температурні карти, карти волог) використовуються як доказова база для страхових компаній або компенсаційних програм. Це зменшує ризики фінансових втрат і підвищує довіру до систем управління господарством.

Агроскаутинг формує новий тип економічної цінності – інформаційну, що допомагає на основі накопичених баз даних здійснювати стратегічне планування, аналіз ефективності агротехнологій, прогнозування фінансових результатів і формування інноваційної моделі розвитку аграрного бізнесу на 3–5 років. Впровадження такої системи підвищує прозорість управління, покращує мотивацію персоналу та сприяє формуванню культури ухвалення рішень на основі даних (data-driven agriculture).

Крім безпосередніх фінансових вигод, впровадження агроскаутингу сприяє підвищенню екологічної стійкості виробництва завдяки зменшенню перевитрат ресурсів, створенню нових робочих місць у сфері цифрового агросервісу й аналітики, підвищенню інвестиційної привабливості господарств, що впроваджують інноваційні технології.

Таблиця 3. Економічна модель капіталовкладень в агроскаутинг.

Показник	Значення/Діапазон	Примітка
Початкова інвестиція в БПЛА з мультиспектральною камерою	5 000–10 000 USD	Залежить від моделі дрона, камери й комплектації
Вартість програмного забезпечення (Pix4D, DroneDeploy, Agisoft)	500 – 2000 USD/рік	Вартість залежить від кількості користувачів і функціоналу
Середня площа обстеження	100–300 га/день	Впливає рельєф місцевості, тип культур, тривалість польоту
Термін окупності системи	1–2 роки	За умови регулярного використання на площі понад 1000 га
Економічний ефект від використання БПЛА	20–30 %	Від загальної вартості ресурсів, що витрачаються на вирощування культур

Досягнення значних організаційних змін і стратегічних результатів можливо лише за умови, якщо керівник бюджетного процесу на підприємстві має стратегічне бачення розвитку бізнесу, навички мотивації персоналу, здатність розставляти пріоритети й вміння залучати необхідних працівників відповідно завдань, які необхідно вирішити. Важливим при цьому є запровадження на підприємстві стратегії роботи з персоналом, що буде поєднувати створення

корпоративної культури, розробку мотиваційних схем, програму навчання та розвитку спеціалістів.

Впровадження системи індикативного бюджетування на основі агроскаутингу є перспективним для розвитку як великих агрохолдингів, так і дрібних фермерських господарств, оскільки дає змогу сформулювати цілі розвитку організації та оцінити практичні можливості їх досягнення, забезпечувати раціональне використання матеріальних і трудових ресурсів, оптимізувати витрати й посилити контроль за виробництвом. Невіддільним складником цієї системи має бути посилення ролі менеджменту в процесі фінансового оздоровлення сільського виробництва та налагодження роботи з навчання і розвитку працівників та їх належної мотивації.

Агроскаутинг у системі індикативного бюджетування є ефективним інструментом управління агровиробництвом, який забезпечує оперативне отримання та використання достовірних даних для планування, контролю й коригування виробничо-фінансових показників. Інтеграція даних агроскаутингу з процесом бюджетування допомагає своєчасно реагувати на зміни в стані посівів, оптимізувати використання ресурсів і знижувати витрати. Такий підхід підвищує точність управлінських рішень, сприяє зростанню ефективності виробництва та формує основу для стратегічного планування розвитку аграрного підприємства.

11. Сучасний менеджмент роботи польового агронома з використанням БПЛА

Сучасне сільське господарство стрімко змінюється: зростають вимоги щодо суттєвого підвищення продуктивності рослинництва в умовах обмеженості ресурсів, а також посилюються вимоги до збереження та відновлення ґрунтів і біорізноманіття. На фоні глобальних кліматичних змін, деградації агроландшафтів та зростання конкуренції за природні ресурси аграрна галузь змушена адаптуватися до нових викликів. Це означає перехід від екстенсивних практик до високоефективних, сталих і науково обґрунтованих технологій вирощування культур. Від сучасного аграрія вимагається не лише забезпечення стабільного врожаю, а й мінімізація негативного впливу на довкілля, впровадження принципів циркулярної економіки, збереження родючості ґрунтів і підтримка екологічної рівноваги. У такому контексті особливого значення набувають інновації, цифрові технології, системи моніторингу та управління ресурсами, що забезпечують прийняття рішень на основі доказів і відкривають нові горизонти в управлінні агроєкосистемами.

Упродовж останніх десяти років робота польового агронома здебільшого полягала в особистому обстеженні полів і проведенні візуального моніторингу шляхом обходу або об'їзду угідь. Агроном оглядав посіви, фіксував наявність бур'янів, симптоми хвороб, пошкодження від шкідників та інші візуальні ознаки порушення стану рослин. Такий підхід вимагав значних витрат часу та базувався переважно на професійному досвіді фахівця. За оцінками, до 60 % робочого часу агроном витрачав саме на виконання таких трудомістких польових оглядів. Від ефективності цих обстежень значною мірою залежала якість прийняття оперативних рішень щодо корекції технологічного процесу, планування захисних заходів і організації виробничої діяльності господарства. Наявність розвинених навичок польового моніторингу визначала здатність агронома своєчасно виявляти критичні точки ризику, зберігати потенціал урожайності та адекватно реагувати на агрономічні проблеми, що виникали впродовж вегетації.

Формування навичок роботи з конкретною культурою в агронома тривало до трьох років, охоплюючи особливості вирощування, добір агрохімікатів та підготовку рекомендацій щодо технологічних заходів. Така тривалість адаптації суттєво ускладнювала виробничу діяльність аграрних компаній, оскільки навіть незначні помилки могли мати серйозні економічні наслідки. При цьому професійний досвід, накопичений окремими агрономами, не завжди трансформувався у корпоративну систему знань і часто втрачався у разі кадрових змін. Це негативно впливало на стабільність та адаптивність агропідприємства в умовах динамічного середовища.

Організація виробничих процесів, особливо в оперативному плані, залишалася слабкою ланкою в структурі управління. Її ефективність значною мірою залежала від індивідуальних рішень агронома, що приймалися на основі суб'єктивного візуального аналізу та особистого досвіду. У таких умовах глибока деталізація проблем на полі була обмеженою, а можливість об'єктивної оцінки ситуації — зниженою. Як наслідок, так званий «людський фактор» мав критичний вплив на всі етапи аграрного виробництва — від діагностики до планування і реалізації агротехнічних заходів.

Сьогодні впровадження цифрових технологій в агрономічну практику відкриває нові можливості для оптимізації виробничих процесів. Зокрема, цифрова агрономія дозволяє суттєво скоротити період адаптації агронома до нової культури та зменшити час, необхідний для її повноцінного впровадження у виробництво. Завдяки накопиченню, структуризації та

аналізу агрономічних даних формується консолідований корпоративний досвід, який не лише зберігається, а й передається наступним поколінням фахівців. Використання безпілотних літальних апаратів (БПЛА) для агроскаутингу забезпечує отримання високоточних цифрових даних щодо стану рослин, просторової неоднорідності посівів, наявності стресових чинників або порушень агрофону. Така інформація є основою для обґрунтованого прийняття рішень на всіх рівнях агровиробництва — від оперативного реагування до стратегічного планування. У такий спосіб цифрові технології не лише підвищують ефективність управління, а й сприяють зниженню ризиків, забезпеченню стабільності врожайності та раціональному використанню ресурсів.

За правильної організації агроскаутингу із використанням безпілотних літальних апаратів (БПЛА) сучасні технології дають змогу за лічені хвилини зібрати високоточні дані про стан поля. Упродовж одного польоту дрон здатен зробити тисячі фотознімків, які в подальшому обробляються за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення. Результатом є точна цифрова карта поля з просторовою роздільною здатністю до кількох сантиметрів, що дозволяє виявити найменші відхилення в розвитку культур. Таким чином, агроном отримує новий інструмент — замість суб'єктивної оцінки візуального огляду він працює з достовірними, кількісно вимірюваними показниками. Поле більше не сприймається лише візуально — воно стає джерелом даних, що трансформуються у рішення.

Запровадження БПЛА та цифрових платформ змінює не лише технічні аспекти роботи, а й саму парадигму професії агронома. Відбувається структурна трансформація ролей: польовий агроном та агроном-технолог поступово перетворюються на користувачів аналітичних систем, операторів даних і модераторів управлінських рішень. Це вимагає нових компетенцій — не тільки розуміння біологічних процесів, але й здатності інтерпретувати цифрову інформацію, працювати з картографічними сервісами, індексами стану рослин і прогнозними моделями.

У монографії *«Сучасні цифрові технології в рослинництві»* (Зозуля та ін., 2025), майбутнє агрономії — в інтеграції біології рослин із математикою даних. Агроном нового покоління — це фахівець, який не лише констатує наявність проблеми, а й здатен спрогнозувати її розвиток, оцінити економічну доцільність реагування та сформувати оптимальну модель втручання на основі об'єктивних цифрових доказів.

Безпілотні літальні апарати (БПЛА) відкривають перед агрономом нові горизонти, які ще донедавна здавалися недосяжними. Вони дають змогу виявляти приховані проблеми на ранніх етапах, коли візуальні ознаки ще не проявлені або практично непомітні для людського ока. Зокрема, йдеться про локальні дефіцити елементів живлення, осередки фітопатологій, ділянки з ознаками водного стресу, зональність ущільнення ґрунту чи нерівномірність розвитку посівів.

Використання мультиспектральних камер, які фіксують світлове випромінювання не лише у видимому, а й у ближньому інфрачервоному діапазоні, дозволяє отримати детальну інформацію про фізіологічний стан рослин. На основі цих зображень обчислюються вегетаційні індекси — **NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)**, **NDRE (Normalized Difference Red Edge)**, **SAVI (Soil-Adjusted Vegetation Index)**, **CWSI (Crop Water Stress Index)**, які відображають параметри фотосинтетичної активності, вміст хлорофілу, біомасу та ступінь зневоднення рослин. Ці індекси можна умовно назвати **«біохімією поля в цифрах»**, оскільки вони надають кількісну, об'єктивну характеристику фітосанітарного стану агроценозу.

Якщо раніше агроном покладався переважно на особисті спостереження, інтуїцію та професійний досвід, то сьогодні його роль значно трансформувалася. Він працює в якості аналітика цифрових екосистем, виконуючи такі ключові функції:

- проводить аналіз спектральних індексів з метою оцінки просторової неоднорідності посівів;
- координує збір і синхронізацію даних із різних джерел — БПЛА, супутникових знімків, стаціонарних сенсорів і наземних спостережень;
- створює карти ризиків, прогнозує розвиток стресових факторів і формує карти-завдання для цільового або диференційованого втручання.

У такий спосіб **агроном інтегрується в багаторівневу систему цифрової діагностики**, яка поєднує дані дистанційного зондування, результати польових обстежень і точні вимірювання за допомогою сенсорних технологій. Це дозволяє не лише бачити, а й розуміти закономірності розвитку культур, формувати своєчасні управлінські рішення та мінімізувати втрати врожаю завдяки ранньому попередженню проблем.

Однак роль агронома не зводиться до натискання кнопки «запуск». Безпілотний літальний апарат — це лише інструмент збору великого обсягу даних, які самі по собі не мають цінності без правильної інтерпретації. Перетворення цих цифрових масивів на агрономічно значущу інформацію — завдання людини, що потребує як аналітичного мислення, так і глибоких знань у біології, фізіології рослин і агроєкології.

Саме тут починається справжнє мистецтво цифрової агрономії — здатність «читати» спектральні карти як біологічні тексти. Наприклад, зниження значень NDVI на окремій ділянці може мати різну природу: це може бути ознакою азотного голодування, проявом посушливого стресу, наслідком пізнішого строку сівби або результатом механічного пошкодження ґрунту технікою. Кожен із цих сценаріїв потребує принципово різного реагування. Неправильна інтерпретація може призвести до хибного діагнозу й, відповідно, неефективного або навіть шкідливого втручання.

Лише агроном, який володіє контекстом поля — його історією обробітку, агрохімічними характеристиками, структурою ґрунтів, гібридним складом культур і особливостями погодних умов — здатен правильно декодувати сигнали, що надходять із дронів. Іншими словами, цифрові дані мають бути інтегровані з польовими знаннями та системним розумінням агроєкосистеми. Така синергія цифрових технологій та фахової компетентності є запорукою ухвалення точних, своєчасних і ефективних агрономічних рішень.

У сучасному агровиробництві саме людина залишається центральною фігурою, що поєднує цифрові інструменти, біологічні закономірності та практичний досвід. Агроном не просто користується даними — він надає їм значення і формує з них стратегічне бачення розвитку поля.

Сьогодні стрімко розвивається сегмент професійних послуг з агроскаутингу на основі використання безпілотних літальних апаратів (БПЛА). Відповідні компанії надають комплексні рішення з дистанційного моніторингу сільськогосподарських угідь, зокрема — багаторічних насаджень, орієнтуючись на точність, оперативність та аналітичну глибину. Одним із яскравих прикладів такого підходу є діяльність компанії **Aerobotics**, яка спеціалізується на управлінні садами, виноградниками та іншими багаторічними культурами із застосуванням сучасних цифрових технологій.

Управління багаторічними насадженнями вимагає високого рівня деталізації даних про стан окремих дерев, що можливе лише за умови інтеграції аерофотозйомки, штучного інтелекту та індексного аналізу. В цьому контексті компанія Aerobotics пропонує інноваційний програмний продукт **Tree Insights**, який базується на багатоспектральних знімках, отриманих оператором БПЛА. Система здійснює автоматизовану ідентифікацію кожного дерева, обробляє знімки, обчислює вегетаційні індекси (зокрема NDVI, VARI тощо) та генерує інтерактивні карти стану насаджень. **Інтерфейс системи забезпечує інтерактивний аналіз на рівні окремих ділянок і дерев, з можливістю порівняння динаміки між об'єктами.** Це дозволяє виявляти причинно-наслідкові зв'язки між параметрами — наприклад, між зменшенням транспірації і рельєфом або поливною ефективністю.

Головною метою такого підходу є забезпечення агронома точним, оперативним і структурованим зворотним зв'язком про стан плодкових дерев — як на рівні всього саду, так і індивідуально по кожному екземпляру. Це дозволяє порівнювати динаміку розвитку між різними етапами вегетації, оперативно виявляти зони стресу або відставання в рості, а також формувати зональні або точкові завдання для технологічного втручання — наприклад, щодо поливу, удобрення чи обрізування.

Таким чином, **сервіси на кшталт Aerobotics створюють передумови для переходу від управління насадженнями на рівні ділянок до рівня окремого дерева**, що відповідає концепції високоточної (precision) агрономії. Подібні рішення поступово стають частиною цифрової трансформації плодоовочевого сектора, відкриваючи нові можливості для адаптивного управління, прогнозування врожайності та підвищення рентабельності виробництва. Система дозволяє формувати завдання для польових груп, прокладати маршрути до проблемних зон, проводити локальні обстеження і приймати технологічні рішення на основі кількісних даних. Це значно підвищує ефективність агроменеджменту, забезпечуючи точність, швидкість та обґрунтованість реагування.

В Україні застосування моніторингу сільськогосподарських культур за допомогою безпілотних літальних апаратів (БПЛА) ще не набуло масового поширення ані серед агровиробників, ані серед сервісних компаній. Однак уже сьогодні можна спостерігати успішні приклади впровадження цієї технології в практику, зокрема — у діяльності компанії *Corteva Agriscience*. Моніторинг із використанням дронів дав змогу ефективно вирішувати завдання, пов'язані з оцінкою густоти посівів, виявленням фітопатологій та оптимізацією технологічних операцій.

Кейс 1. Визначення фактичної густоти стояння соняшнику

У господарстві було проведено обліт дронами з метою визначення щільності посіву. Після створення ортофотоплану й використання інструменту автоматичного підрахунку рослин зафіксовано 50 000 рослин/га замість запланованих 70 000. Візуальна перевірка підтвердила похибки сівалки та нерівномірні сходи.

Висновок: використання БПЛА дозволяє оперативно виявляти порушення агротехнологій сівби та формувати карти щільності для подальшого аналізу й корекції технологічних рішень.

Кейс 2. Виявлення склеротинії за мультиспектральними знімками

На полі в Білоцерківському районі дрон з мультиспектральною камерою зафіксував зони зниженого NDVI (<0.4). Після польової діагностики виявлено ураження склеротинією на 12 % площі.

Висновок: NDVI-аналіз дозволяє виявити фітопатології на ранніх стадіях, локалізувати їх

поширення та приймати своєчасні рішення щодо фунгіцидного захисту або зміни агротехнології.

Кейс 3. Диференційоване внесення десиканту за картами NDVI

Під час дозрівання соняшнику було створено карту вегетаційних зон, що поділяла поле на три зони за рівнем NDVI. На основі цієї карти агродрон вніс десикант із диференційованими нормами.

Результат: досягнуто економії препарату до 25 %, знижено пестицидне навантаження та забезпечено рівномірне дозрівання, що оптимізувало строки збирання.

Висновок: інтеграція БПЛА, вегетаційного аналізу та агродронів дозволяє реалізувати точкове внесення ЗЗР, скорочуючи витрати і підвищуючи ефективність.

У сучасному аграрному секторі зростає потреба у фахівцях нового типу — операторів цифрового агромоніторингу, які володіють технологіями використання безпілотних літальних апаратів (БПЛА) у щоденній практиці. Такі спеціалісти не лише виконують польоти згідно з технічним завданням, а й відповідають за повний цикл обробки аерофотоданих: планують місії, здійснюють обліт, проводять калібрування світлових панелей, обробляють знімки в спеціалізованих програмних середовищах — **Pix4Dfields, Agisoft Metashape, DroneDeploy, QGIS** тощо.

Ключовим завданням таких фахівців є створення аналітичних карт — не декоративних зображень, а точних цифрових моделей поля, які слугують основою для технологічного прийняття рішень. На основі отриманих карт розробляються **VRA-завдання (Variable Rate Application)** — для диференційованого внесення добрив, засобів захисту рослин або поливної води. Це дозволяє агротехніці діяти з максимальною точністю, вносячи ресурси лише там, де вони дійсно необхідні. Такий підхід забезпечує значну **економію матеріальних ресурсів**, знижує екологічне навантаження на агроєкосистему та підвищує ефективність управління посівами.

Практика демонструє переконливі переваги впровадження БПЛА в агровиробництво: час, необхідний для моніторингу полів, скорочується у 6–8 разів, а витрати на засоби захисту знижуються на 15–25 %. Проте найвагоміша перевага полягає у **підвищенні точності та передбачуваності рішень**. Як зазначено у розділах 11.10–11.15 монографії Зозулі (2025), цифровий моніторинг дозволяє виявляти перші ознаки захворювань або стресів за 3–5 днів до того, як вони стануть помітними візуально. Це створює передумови для превентивного втручання, яке мінімізує ризики та дозволяє зберегти врожай на ранніх стадіях формування.

Цифрова агрономія — це не лише технологія, а насамперед нова культура мислення. Вона змінює підхід до управління агровиробництвом: агроном більше не реагує постфактум, а діє проактивно — виявляє тенденції, аналізує динаміку, порівнює сезони, формує прогнозні моделі. Інтеграція дронів, супутникових даних, ґрунтових сенсорів та метеостанцій створює єдине цифрове середовище, яке може бути впроваджене у фермерські інформаційні системи (FMIS). Це середовище дозволяє сформулювати «**цифровий паспорт поля**», що акумулює історію врожайності, агротехнічних операцій, проблемних зон і прийнятих рішень. Згодом такі бази даних перетворюються на фундамент для моделювання продуктивності, оцінки економічної доцільності та стратегічного планування сівозмін.

Разом із можливостями цифрова трансформація приносить нові виклики. Робота з великими обсягами даних вимагає спеціалізованих навичок — від збору й візуалізації до захисту інформації від втрат чи несанкціонованого доступу. Як зазначено в розділі 8.4.9 монографії Зозулі (2025), питання кібербезпеки більше не є теоретичними: адже БПЛА фіксує не лише агрофізіологічні параметри, а й просторові координати, включно з

конфіденційною інформацією про виробничі технології. Це висуває нові вимоги до компетентності агронома, який повинен одночасно бути біологом, інженером і аналітиком. Він має не тільки розуміти рослину, а й працювати з апаратурою, інтерпретувати цифрові дані та ухвалювати рішення в умовах інформаційної складності.

Таким чином, агроном майбутнього — це координатор системи «поле — техніка — дані». У перспективі частина рутинних робіт буде делегована автономним дронам, які здійснюватимуть регулярні обльоти та передаватимуть інформацію в хмарні сховища. Завдання агронома — перевіряти аналітичні звіти, верифікувати їх на основі польового контексту й приймати обґрунтовані технологічні рішення.

Однак навіть найточніші алгоритми не здатні повністю замінити людську інтуїцію, багатшаровий досвід і агрономічне чуття. Як слушно зазначає Зозуля (2025), цифрові інструменти мають бути **«продовженням очей і розуму агронома, а не їх заміною»**. Саме поєднання технологічної точності з людським мисленням робить нову агрономію не лише ефективною, а й глибоко творчою. Коли фахівець стоїть на узвишші й бачить своє поле з висоти, перед ним розгортається не просто карта, а живий організм: зі своїми слабкими і сильними зонами, сигналами тривоги й потенціалом розвитку. І тепер він має інструмент, щоб забезпечити цьому полю здорове, збалансоване функціонування — без перевитрат, втрат і хвороб.

Для студентів аграрних університетів цифрова агрономія — це водночас виклик і шанс. Вона формує нову освітню траєкторію, що виходить за межі традиційної агрономії й охоплює аналітику, робототехніку, геоінформатику, цифрову картографію та обробку великих масивів даних. Майбутній фахівець повинен вміти поєднувати знання з біології рослин і сучасних технологій, розуміти принципи роботи з БПЛА, сенсорами та цифровими платформами, здатними змінювати аграрну практику.

Для фермерів — це реальний інструмент підвищення ефективності виробництва без нарощування площ чи збільшення витрат. Технології дистанційного моніторингу дають змогу точніше оцінювати стан посівів, раціональніше використовувати ресурси та ухвалювати обґрунтовані управлінські рішення.

Саме тому сучасний менеджмент роботи польового агронома з використанням БПЛА — це не данина моді, а об'єктивна необхідність. Це якісний перехід від агрономії відчуттів до агрономії доказів, від постфактум-реакції — до прогностного мислення. Найголовніше — це рух до більш розумного, екологічно відповідального й сталого землеробства, в якому кожен гектар набуває цифрової ідентичності, а агроном отримує новий інструмент — небо з безпілотником, що літає над його майбутнім, допомагаючи бачити те, що ще вчора залишалося невидимим.

Сценарій роботи агронома з БПЛА: етапи цифрового моніторингу

Етап 1. Планування місії

Першим кроком є постановка чіткої мети обльоту: діагностика азотного живлення, виявлення зон водного стресу, оцінка пошкоджень посівів чи виявлення осередків хвороб. Для попередньої оцінки обираються інструменти дистанційного зондування Землі — супутникові знімки або архівні дані попередніх обльотів. На основі отриманої інформації окреслюються потенційно проблемні ділянки поля.

Далі виконується детальне планування польотної місії: задається висота польоту (зазвичай 80–120 м), рівень перекриття знімків (не менше 80% у поздовжньому і поперечному напрямках), а також тип сенсора — мультиспектральний або RGB. Політ програмується

через відповідний мобільний застосунок, що автоматизує маршрут і дозволяє адаптувати параметри до особливостей поля.

Етап 2. Виконання польотної місії

Перед стартом проводиться обов'язкове калібрування сенсора з використанням рефлекторної панелі — для стандартизації умов зйомки і забезпечення достовірності спектрального аналізу. Далі дрон автоматично виконує обліт за заданим маршрутом.

Залежно від специфіки місії, застосовується режим BVLOS (поза межами прямої видимості) або VLOS (у межах прямої видимості). Дані збираються у форматах високої роздільності (RAW, TIFF або JPEG) для подальшої фотограмметричної обробки. По завершенні місії БПЛА повертається до точки запуску, а всі знімки зберігаються на карті пам'яті або передаються на наземну станцію.

Етап 3. Обробка отриманих даних

На етапі обробки за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення (Pix4Dmapper, DroneDeploy, Agisoft Metashape, QGIS) знімки агрегуються в єдиний ортофотоплан поля. Створюється цифрова модель місцевості, а також векторні шари, що відображають просторову структуру посівів.

Далі обчислюються спектральні індекси:

- **NDVI** — індикатор фотосинтетичної активності;
- **NDRE** — чутливість до вмісту хлорофілу;
- **SAVI** — адаптація до впливу ґрунтового покриття;
- **NDWI** — оцінка водного стресу.

Ці індекси відображаються у вигляді карт вегетаційної активності, які дозволяють виявити зони зниженого розвитку, нерівномірності сходів, потенційні осередки ураження або порушення у структурі ґрунту. Карти експортуються у форматах GeoTIFF, SHP, KML для подальшої інтеграції в агрономічні системи управління.

Етап 4. Інтерпретація результатів і прийняття рішень

Агроном виконує порівняльний аналіз отриманих карт з агрономічними нормами й польовими спостереженнями. На цьому етапі формується комплексна оцінка стану культури, прогнозується динаміка розвитку та ухвалюються рішення щодо корекції технологічної карти.

Результатом інтерпретації є створення карт-завдань для диференційованого внесення добрив (VRA), точкового обприскування або інших агрономічних втручань. Це дозволяє мінімізувати витрати ресурсів, уникнути надмірного навантаження на екосистему та підвищити рентабельність виробництва.

Етап 5. Контроль ефективності заходів

Через 7–10 днів після внесення змін виконується повторний обліт. Аналіз змін значень NDVI, CWSI або інших показників дозволяє кількісно оцінити реакцію культури на застосовані заходи. Таким чином, забезпечується замкнутий цикл моніторингу — від виявлення проблеми до оцінки результатів рішень.

Цей підхід формує нову модель прийняття рішень в агрономії — не інтуїтивну, а доказову, де кожна дія підкріплена цифровими даними і має кількісну оцінку ефективності

ВИСНОВОК

Дистанційний моніторинг у рослинництві — це сучасний підхід до управління полем, що поєднує передові технології з класичними знаннями агрономії. Завдяки дронам, супутникам, мультиспектральним і тепловізійним сенсорам, а також програмному забезпеченню на основі штучного інтелекту, агрономи мають змогу:

- бачити зміни в посівах ще до появи явних симптомів,
- точно локалізувати та аналізувати проблеми,
- ефективно розподіляти ресурси та планувати роботи,
- підвищувати врожайність та рентабельність господарства,
- впроваджувати екологічно відповідальні технології.

Головне — навчитися працювати з даними, правильно інтерпретувати результати й приймати рішення, спираючись на об'єктивну інформацію.

Цей напрям постійно розвивається, а тому важливо вміти самостійно знаходити й аналізувати нову інформацію, користуватися онлайн-ресурсами, підвищувати кваліфікацію.

ДОДАТКОВІ ДЖЕРЕЛА



Дистанційний огляд полів. Що слід знати

Джерело: <https://propozitsiya.com/articles/tekhnika-ta-obladnannya/dystantsiynyy-ohlyad-poliv-shcho-slid-znaty>



Дрони і супутники: моніторинг стану посівів впродовж сезону

Джерело: <https://www.smartfarming.ua/drony-i-suputnyky-monitorynh-stanu-posiviv-vprodovzh-sezonu/>



П'ять дронів- помічників для обробки полів

Джерело: <https://propozitsiya.com/news/pyat-droniv-pomichnykiv-pry-obrobtshi-voliv>

Програмне забезпечення для обробки фото та відео з БПЛА

Однією з найпоширеніших програм є **Pix4Dmapper**

<https://www.pix4d.com/product/pix4dmapper>, яка забезпечує високоточну фотограмметричну обробку знімків і побудову 3D-моделей місцевості.

Аналогічні функції має **Agisoft Metashape** <https://www.agisoftmetashape.com/> професійний інструмент для створення ортофотопланів, моделей рельєфу та текстурованих поверхонь.

Для користувачів, які прагнуть автоматизувати процес обробки в хмарі, оптимальним рішенням є **DroneDeploy** <https://www.dronedeploy.com>

Спеціально для користувачів техніки DJI розроблено програму **DJI Terra**

<https://www.dji.com/global/products/enterprise?site=enterprise&from=nav#software>, яка перетворює зображення з дронів на ортофотоплани та 3D-моделі.

Для відкритих рішень існує **WebODM (OpenDroneMap)**

<https://www.opendronemap.org/webodm>, що підтримує мультиспектральні дані та дозволяє створювати ортомозаїки без потреби у комерційній ліцензії.

Mapflow <https://mapflow.ai/#use-cases> — це хмарний сервіс, який використовує алгоритми **глибокого навчання (Deep Learning)** для розпізнавання об'єктів на аерокосмічних зображеннях. Система аналізує фото та ортофотоплани з БПЛА або супутників і автоматично створює **векторні шари** — карти об'єктів земної поверхні, таких як поля, дороги, будівлі, лісові масиви, водні тіла тощо.

ДЖЕРЕЛА ДЛЯ САМООСВІТИ СТУДЕНТА

Open Access агро-платформи:

1. **OneSoil Map** — безкоштовний онлайн-моніторинг полів на основі супутникових даних
<https://map.onesoil.ai/2023/#2.3/44.35/-43.66>
https://map.onesoil.ai/2023/?utm_source=chatgpt.com#2.3/44.35/-43.66
2. **EOS Crop Monitoring** — платформа для аналізу супутникових знімків, індексів, зонування
<https://eos.com/products/crop-monitoring/>
 (також україномовний опис: <https://aggeek.net/ru-eos-crop-monitoring>)
https://eos.com/blog/sentinel-hub-eo-browser-alternatives/?utm_source=chatgpt.com
3. ☐ **Sentinel Hub EO Browser** — перегляд супутникових знімків (Sentinel, Landsat тощо)
<https://apps.sentinel-hub.com/eo-browser/firms.modaps.eosdis.nasa.gov+7sentinel-hub.com+7un-spider.org+7sentinel-hub.com+3un-spider.org+3apps.sentinel-hub.com+3>
4. ☐ **NASA Worldview** — глобальні супутникові карти в реальному часі
<https://worldview.earthdata.nasa.gov/>
5. англomовний посібник ФАО: <https://openknowledge.fao.org/home>

Навчальні курси

1. **Remote Sensing Image Acquisition, Analysis and Applications** (Coursera, UNSW Sydney)
https://www.coursera.org/learn/remote-sensing?utm_source=chatgpt.com
2. Інші релевантні курси з дистанційного зондування на Coursera:
<https://www.coursera.org/courses?query=remote+sensing>
3. **Satellite Remote Sensing Data Bootcamp With Opensource Tools** (Coursera, Packt – оновлено травень 2025)
<https://www.coursera.org/learn/packt-satellite-remote-sensing-data-bootcamp-with-opensource-tools-ny19m>
4. **Spatial Analysis and Satellite Imagery in a GIS** (Coursera, University of Toronto)
<https://www.coursera.org/learn/spatial-analysis-satellite-imagery-in-a-gis>
5. **DroneDeploy Academy** — сертифікаційні навчальні модулі (Pilot, Analyst, Administrator) для різних галузей, включаючи агрокомпонент; модулі доступні через платформу DroneDeploy Academy
<https://www.dronedeploy.com/resources/academy>

QGIS Documentation — офіційна документація, підручники, відеоматеріали

- Офіційна документація QGIS (найновіша версія)
<https://docs.qgis.org/latest/en/docs/index.html>
- Документація для QGIS 3.40
<https://docs.qgis.org/latest/en/docs/index.html>
- QGIS User Guide (версія 3.10)
https://docs.qgis.org/3.10/en/docs/user_manual/docs.qgis.org
- Огляд-проект QGIS та можливості
<https://qgis.org/project/overview/>

- **Головна сторінка QGIS із функціоналом та можливостями**
<https://qgis.org/>

Інструменти для роботи з даними

- **Pix4D Video Tutorials** — відеоуроки, які пояснюють основні робочі процеси у продуктах Pix4D: PIX4Dmapper, PIX4Dcloud, PIX4Dfields тощо
help.dronedeploy.com+8support.pix4d.com+8support.pix4d.com+8
- **Pix4D Training (офіційний сайт)** — онлайн-курси, семінари, сертифікація, навчання в режимі самоосвіти або за участю інструктора
<https://www.pix4d.com/training>

Спільноти та форуми

- **QGIS Users Corner** — офіційна сторінка, що містить посилання, ресурси та інформацію для користувачів QGIS (відповідальна спільнота)
https://issues.qgis.org/projects/qgis/wiki/Users_Corner
- **QGIS Community – User Groups** — інформація про створення та підтримку локальних спільнот користувачів QGIS, включаючи обмін матеріалами, RSS-канали та онлайн-форуми
<https://qgis.org/community/groups/>
- **IFPRI Webinar Archive** — архів вебінарів організації IFPRI, з темами про агросистеми, клімат, супутниковий моніторинг та аналітику
https://www.ifpri.org/event_type/webinar/

Довідкова література

- Dankevych A., Sosnovska O., Dobrianska N., Nikolenko L., Mazur Yu., Ingram K. (2021). Ecological and economic management of innovation activity of enterprises. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, 5, 112–118. DOI: <https://doi.org/10.33271/nvngu/2021-5/118>.
- Ostapchuk, T., Orlova, K., Biriuchenko, S., Dankevych, A., & Marchuk, G. (2021). Defuzzification in the process of managerial estimating the value of agricultural lands. *Agricultural and Resource Economics: International Scientific E-Journal*, 7(4), 62-81. DOI: <https://doi.org/10.51599/are.2021.07.04.04>.
- Данкевич А. Є. Методологічні основи розвитку бюджетування у сільському господарстві / Економіка АПК. – 2008. – № 6. – С. 64–69.
- Данкевич А. Є. Організаційно-економічні складові раціонального господарювання / Економіка АПК. – 2011. – № 6. – С. 22–27.
- Denysiuk, O., Svitlyshyn, I., Tsaruk, I., Vikarchuk, O., Dankevych A. (2022). Diversification in the enterprises' activities for sustainable development in the agricultural sector. *Rivista di studi sulla sostenibilita*, Pages 18 p. 85-102, doi 10.3280/RISS2022-002007

Поради для самонавчання

Використовуйте практику: аналізуйте реальні супутникові/дронові знімки вашого регіону.

Слідкуйте за трендами: підписуйтесь на новини агротехнологій, беріть участь у безкоштовних вебінарах, онлайн-курсах.

Вчіться працювати з програмним забезпеченням: освоюйте QGIS, Pix4D, DroneDeploy, EO Browser, навіть на демо-даних.

Не бійтеся ставити питання та ділитися досвідом: спільноти і форуми — найкраще джерело відповідей для початківця.