



Землеробство, грунтознавство, агрохімія

УДК 631.3
© 2026

МЕТОДИЧНІ ПІДХОДИ ДО АНАЛІЗУВАННЯ СТАНУ ПОСІВІВ СОЇ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ АЕРОФОТОЗНІМАННЯ З БПЛА

Д.І. Бідолах¹, В.М. Яворов², В.Б. Гаврилюк³, Б.Я. Кудла⁴

¹доктор сільськогосподарських наук, професор

^{2,3}кандидати сільськогосподарських наук

Відокремлений підрозділ Національного університету

біоресурсів і природокористування України

«Бережанський агротехнічний інститут»

Міністерства освіти і науки України

вул. Академічна, 20, м. Бережани, Тернопільська обл., 47501, Україна

e-mail: ¹Dimbid@ukr.net, ⁴kudlabogdan4@gmail.com

ORCID: ¹0000-0003-0248-3731, ²0009-0000-8511-0484,

³0009-0000-4358-2635, ⁴0009-0008-3604-5610

Надійшла 16.12.2025. Рецензована 19.12.2025. Прийнята до друку 16.07.2026

Мета. Обґрунтувати методичні підходи до аналізування стану посівів сої за результатами аерофотознімання з БПЛА шляхом порівняння ручної векторизації, керованої класифікації за алгоритмом максимальної подібності та некерованої класифікації K-Means, а також визначити доцільність їх поєднання з експертною візуальною інтерпретацією для оцінювання просторової структури рослинного покриву. **Методи.** Виконано аерофотознімання дослідного полігону за допомогою безпілотного літального апарата DJI Phantom 4 Advanced із подальшим фотограмметричним опрацюванням матеріалів і формуванням високодеталізованого ортофотоплану. В середовищі QGIS проведено візуальне дешифрування та ручну векторизацію основних об'єктів агроландшафту зі створенням полігональних шарів. Для автоматизованого картографування використано методи керованої класифікації за алгоритмом максимальної подібності та некерованої класифікації на основі алгоритму K-Means. Точність результатів оцінювали, порівнюючи дані автоматизованих класифікацій із даними ручного оцифрування, яке використовувалось як еталонний (контрольний) метод. На основі отриманих результатів узагальнювали емпіричні дані для обґрунтування практичних рекомендацій щодо застосування досліджуваних підходів.

Результати. Дослідження проводили на території дослідного господарства ВП НУБіП України «Бережанський агротехнічний інститут» у с. Павлів Тернопільського р-ну Тернопільської обл. (49,452057° пн. ш.; 24,805818° сх. д.) у травні – серпні 2025 р. Отримані картографічні матеріали дали змогу кількісно оцінити площі основних об'єктів агроландшафту та визначити проблемні зони з розрідженими сходами. Методи керованої класифікації показали більшу відповідність даним оцифрування (середнє відхилення — 6,7%) порівняно з некерованими (14,7%), які є ефективними з погляду попереднього оцінювання спектрально однорідних ділянок, але не забезпечують точного поділу сходів за щільністю. Аналіз просторової структури покриттів дає змогу планувати локальні агротехнічні заходи й оцінювати потенційну врожайність. **Висновки.** Методичні підходи до аналізування стану посівів сої за результатами аерофотознімання з БПЛА, оснащених RGB-камерами, є перспективними та економічно доцільними. Автоматизовані методи класифікації ефективні для виділення твердих і контрастних об'єктів та дрібноконтурних ділянок, тоді як детальне оцінювання структури рослинного покриття доцільно здійснювати із застосуванням керованої класифікації в поєднанні з експертною візуальною інтерпретацією.

Ключові слова: безпілотні літальні апарати, картографування посівів, керована класифікація, некерована класифікація, спектральний аналіз.

DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovysnyk202608-01>

Аграрний комплекс зазнає постійних змін під впливом розвитку сучасних інформаційних та інструментальних технологій. У цьому процесі безпілотні літальні апарати (БПЛА) стають важливим інструментарієм трансформації точного землеробства [1], зокрема моніторингу стану посівів, оптимізації витрат добрив, своєчасного виявлення хвороб, зміни стану рослин тощо. Особливо актуальні такі підходи для вирощування стратегічно важливих зернових культур, які займають значні площі сільгоспугідь та формують основу аграрного експорту України.

У дослідженнях дедалі більше уваги приділяють теоретичним і прикладним аспектам переваг використання БПЛА в агрономії. Значно зросла, як показав бібліометричний аналіз, кількість публікацій, присвячених цій тематиці, особливо починаючи з 2015 р. Провідними країнами за кількістю досліджень щодо

використання БПЛА в агрономії є США, Китай, Індія та країни Європейського Союзу [2]. Дрони, на переконання багатьох науковців указанного напрямку досліджень [1–3] та ін., є ефективним інструментом моніторингу сільгоспкультур, своєчасного виявлення захворювань чи пригнічення рослин, удосконалення агротехніки вирощування, а також точкового внесення добрив і засобів захисту культур.

Застосування аерофотозйомки з безпілотних літальних апаратів створює широкі можливості для оперативного отримання просторово деталізованої інформації про стан сільськогосподарських угідь та інформаційного забезпечення точного землеробства [4].

За даними моніторингу стану вегетації сої [3, 4] ефективність БПЛА як інструмента, за допомогою якого можна підвищити обґрунтованість прийнятих агрономічних рішень, є високою.

Так, застосування БПЛА як інструмента для NDVI-аналізу посівів, на переконання дослідників [2], уможливорює прийняття досить ефективних рішень щодо визначення неоднорідності росту рослин, які важко помітити візуально. Результати досліджень [6] показали, що такий підхід дає змогу своєчасно виявляти фітопатологічні проблеми та дефіцит азоту. Як зазначено в [7–9], дедалі більшої актуальності набувають такі сфери, як застосування безпілотників для створення карт урожайності й моделювання біомаси.

З огляду на це важливого прикладного значення набувають і дослідження використання фотокамер, що функціонують у видимому спектрі діапазону та є доступними для аграрної практики методів дослідження земної поверхні. Це пояснюється тим, що таке навісне обладнання технічно сумісне з безпілотним літальним апаратом і часто використовується в комплектації серійних БПЛА. Окремий інтерес становить застосування RGB-камер, що, на наше переконання, як і за результатами досліджень багатьох науковців [1, 14 та ін.], є доступним й економічно ефективним інструментом моніторингу сільгоспкультур.

В численних дослідженнях увагу фокусують на класифікації культур, аналізі індексів вегетації на основі адитивного змішування триколірних складових RGB, побудові ортофотопланів, мозаїк і цифрових поверхонь, оцінюванні біомаси рослинності на полі та виявленні її стресів і зміни стану.

Поряд із цим нині, незважаючи на бурхливий розвиток технологій, потребують розв'язання проблеми, пов'язані з обмеженням ємності батарей [10], високоточним маршрутизуванням [11], високою вартістю обробки даних і складністю інтеграції з IoT-інфраструктурою господарств [12]. За даними українських аграрних компаній [6], площі під соєю найчастіше є

об'єктами для використання агродронів із метою моніторингу та обприскування. Вітчизняні науковці [2, 6] зазначають, що застосування дронів дає змогу зменшити втрати врожаю до 15% завдяки своєчасному виявленню зон стресу. Отже, дослідження можливостей використання дронів у сільському господарстві та адаптація зарубіжного досвіду до умов українського землеробства, зокрема щодо вирощування сої, залишається актуальним.

У статті основну увагу зосереджено на висвітленні результатів дослідження можливостей класифікації стану посівів сої за результатами їх дистанційного зондування з використанням БПЛА з подальшою інтерпретацією даних у ГІС (QGIS).

Мета досліджень — обґрунтувати методичні підходи до аналізування стану посівів сої за результатами аерофотознімання з БПЛА шляхом порівняння ручної векторизації, керованої класифікації за алгоритмом максимальної подібності та некерованої класифікації K-Means, а також визначити доцільність їх поєднання з експертною візуальною інтерпретацією для оцінювання просторової структури рослинного покриву.

Матеріали та методи досліджень. Дослідження охоплює бібліометричний аналіз наукової літератури; емпіричну частину, яка містить результати обробки й аналізу даних БПЛА-знімання на дослідних ділянках сої; рекомендації щодо подальшого напрямку дослідження.

Як об'єкти дослідження обрано посіви сої на території дослідного господарства ВП НУБіП України «Бережанський агротехнічний інститут» у с. Павлів Тернопільського р-ну Тернопільської обл. Географічні координати досліджуваного поля: 49,452057° пн. ш.; 24,805818° сх. д. Досліджували сою сорту Агат, яка належить до групи середньостиглих із тривалістю вегетацій-

ного періоду 126–135 діб. Сівбу насіння було проведено 6 травня 2025 р., сходи з'явилися 17 травня, а 31 травня зафіксовано появу першої пари трійчастих листків. Насіння перед висівом було оброблене бактеріальним інокулянтom ризоторфіном. Норма висіву — 0,5 млн га схожих насінин. Під час посіву внесено мінеральні добрива дозою $N_{45}P_{60}K_{60}$. Ширина міжрядь становила 30 см.

На дослідних полях використовували методи дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) із застосуванням оптичної камери БПЛА DJI Phantom 4 Advanced, детальні характеристики якого наведено у [13]. Аерофотознімання проводили 5 серпня 2025 р. з інтерпретацією його результатів у середовищі QGIS 3.44. Перед початком знімальних робіт було складено план маршруту переміщення БПЛА з визначенням висоти польоту, часу виконання завдання з урахуванням площі об'єкта дослідження, фокусної віддалі камери та необхідної деталізації. У процесі прокладання маршруту відповідно до вимог аерофотознімання за допомогою універсальної платформи DroneDeploy (безплатної версії) встановлено перекриття суміжних знімків: повздовжнє — 75%, поперечне — 65%.

Після необхідних налаштувань і калібрування БПЛА здійснено обліт об'єкта дослідження на висоті 80 м та ортогональне фотографування його території для забезпечення відповідної роздільної здатності матеріалів знімання. Ортотрансформацію отриманого фотографічного матеріалу, підготовку ортофотопланів виконували в системі координат UTM на еліпсоїді WGS84 з використанням навчальної версії програмного забезпечення Agisoft Metashape. Просторова сукупність пікселів чи кожний із них за ортофотопланом дають змогу отримувати інформацію про спектральні характеристики наземного покриття в геоінформаційній системі (ГІС) QGIS 3.44. Зокрема,

ручне оцифрування, яке полягало у створенні векторних полігональних шарів, передбачало безпосереднє виділення різних об'єктів покриттів на растровій основі за допомогою інструментів ГІС. Вона використовувалась як еталонний, або контрольний, метод, на основі якого оцінювали точність методів автоматизованих класифікацій, що містили некеровану й керовану класифікації. Некеровану класифікацію виконували за алгоритмом K-Means clustering, керована базувалася на використанні навчальних вибірок, які характеризували визначені у процесі дешифрування класи покриття. Алгоритм за методом максимальної подібності дав змогу здійснити аналіз спектральних характеристик і класифікацію растра за схожістю.

За результатами досліджень здійснено комплексне поєднання даних систематичного огляду з емпіричними матеріалами, на основі яких розроблено рекомендації щодо напрямку подальших досліджень.

Результати досліджень. Так, за результатами обльоту дослідного полігону отримано ортофотоплан (рис. 1, а) високої роздільної здатності (2 см/піксель зображення). На переконання дослідників [9], подібні картографічні матеріали дають змогу отримати досить чітке уявлення про стан поверхні території на момент знімання. На відміну від традиційних картографічних матеріалів, це створює оптимальні умови для актуалізації растрової основи та здешевлення моніторингу зміни полів, що з огляду на вартість виконання є економічно вигідним.

Застосований підхід створив передумови для визначення площ різних типів земного покриття в середовищі ГІС (QGIS 3.44). Зокрема, ручне розпізнавання об'єктів за спектральними характеристиками та подальше оцифрування ареалів відповідних об'єктів агроландшафту в зазначеному програмному комплексі (рис. 1, б)

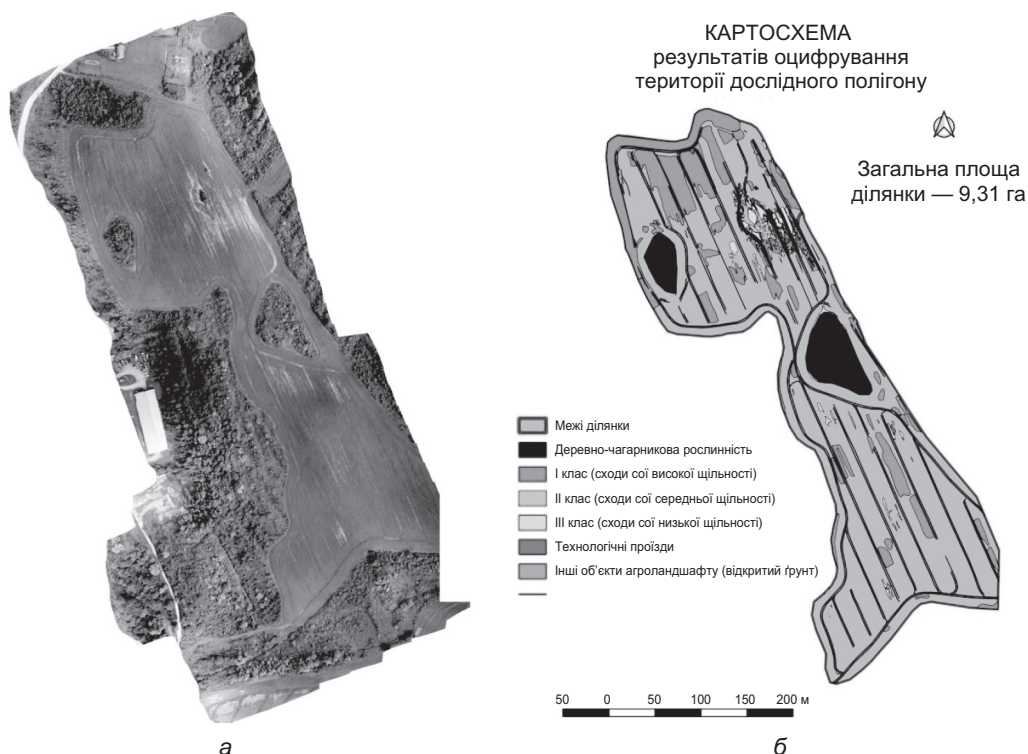


Рис. 1. Результати оцифрування дослідної ділянки: а — ортофотоплан; б — картосхема

Джерело: розробено Д.І. Бідолахом.

уможливило точне визначення площі кожної окремої категорії покриття. В результаті аналізу поверхні дослідної ділянки було ідентифіковано 4 основних об'єкти агроландшафту:

1. Сходи сої різного рівня щільності.
2. Дервно-чагарникова рослинність, що локалізувалася на ділянці та обмежувала можливість посіву сої на всій площі дослідного полігону.
3. Технологічні проїзди, призначені для пересування сільськогосподарської техніки.
4. Інші об'єкти агроландшафту (відкритий ґрунт).

Оскільки поле заздалегідь очистили від небажаної рослинності, застосувавши відповідні хімічні препарати, категорію «Небажана рослинність (бур'яни)» окремо не виділяли. Водночас категорію «Сходи сої» поділили на 3 підка-

тегорії залежно від щільності культури на знімку (високої, середньої й низької). Завдяки такому підходу в подальшому стала можливою реалізація диференційованої технології догляду за посівами, зокрема оптимізація політики внесення засобів захисту та стимуляторів росту, визначення потреби в додаткових наземних обстеженнях, оцінювання якості агротехнічних операцій, прогнозування врожайності тощо.

Результати оцифрування ортофотоплану (див. таблицю) на площі понад 9,3 га підтвердили, що в структурі об'єктів агроландшафту домінує рослинність, зокрема посіви сої, які становлять понад 86% площі. Аналітичний розподіл за різними класами (рис. 2) показав, що на цьому полі переважають сходи сої різної щільності (86,8%). Найбільшу площу на дослідженій

території займають сходи сої середньої щільності (II клас), які охоплюють 64 370 м² (69,1%) (див. таблицю). Така домінантність є досить типовою для цієї фази росту сої, проте також може свідчити про нерівномірність розвитку посівів, що пов'язане зі зниженими показниками польової схожості або неоднорідними ґрунтово-гідротермічними умовами. Для виявлення причини цього й розроблення заходів щодо підвищення врожайності культур на цих площах такі ділянки потребують додаткового польового дослідження.

Поряд із цим деревно-чагарникова рослинність займає 5,9% площі, а її наявність загалом ускладнює обробіток полів і може локально змінювати мікроклімат прилеглих ділянок поля (див. таблицю). Найменшою (2,3%) виявилася частка сої низької щільності. Такі площі можна розглядати як потенційно проблемні, тобто такі, що потребують окремого агрономічного аналізу. Показник ґрунтових покриттів (7,2%), з яких технологічні проїзди становлять 5,4%, є типовим для структурованого посівного поля, тоді як інші ґрунтові покриття (1,8%), представлені оголеними ділянками ґрунту, потребують

особливої уваги для покращення їх родючості, виявлення причин загибелі чи відсутності сходів.

Отже, результати досліджень мають важливе практичне значення для агрономів, оскільки дають змогу комплексно оцінити просторову структуру посівів і визначити якість сформованих сходів. Аналіз розподілу площ між сходами сої різної щільності дає підстави зробити висновок про рівномірність розвитку рослин та ефективність технологічних операцій, зокрема висіву, внесення добрив і підготовки ґрунту. Отримані дані сприятимуть більш точному оцінюванню потенційної врожайності, оскільки структура сходів безпосередньо впливає на майбутню продуктивність культури, а також прийняттю обґрунтованого рішення агрономами, оптимізації технологічних процесів і підвищенню ефективності агрономічного менеджменту.

Для оцінювання достовірності результатів автоматизованого картографування покриття в дослідженні застосовано 2 додаткових підходи до класифікації растрових даних (рис. 3) з подальшим порівнянням отриманих площ за визначеними раніше класами з резуль-

Дані оцифрування і порівняння результатів використання різних підходів до класифікації об'єктів агроландшафту

Об'єкт агроландшафту	Оцифрування (контроль)		Класифікація					
			некерована			керована		
	Площа, м²	Частка, %	Площа, м²	Частка, %	Δ, %	Площа, м²	Частка, %	Δ, %
Деревно-чагарникова рослинність	5500,1	5,9	5676,6	6,1	0,2	2975,4	3,2	−2,7
Сходи сої:								
високої щільності (I клас)	14 419,2	15,5	18 976,1	20,4	4,9	18 935,3	20,3	4,8
середньої щільності (II клас)	64 370,0	69,1	25 619,1	27,5	−41,6	49 897,6	53,6	−15,5
низької щільності (III клас)	2184,4	2,3	13 735,3	14,7	12,4	2073,2	2,2	−0,1
Технологічні проїзди	5013,5	5,4	2637,9	2,8	−2,6	3453,3	3,7	−1,7
Інші типи покриття	1648,1	1,8	26 490,4	28,4	26,6	15 800,6	17,0	15,2
Загалом	93 135,4	100,0	93 135,4	100,0	14,7	93 135,4	100,0	6,7

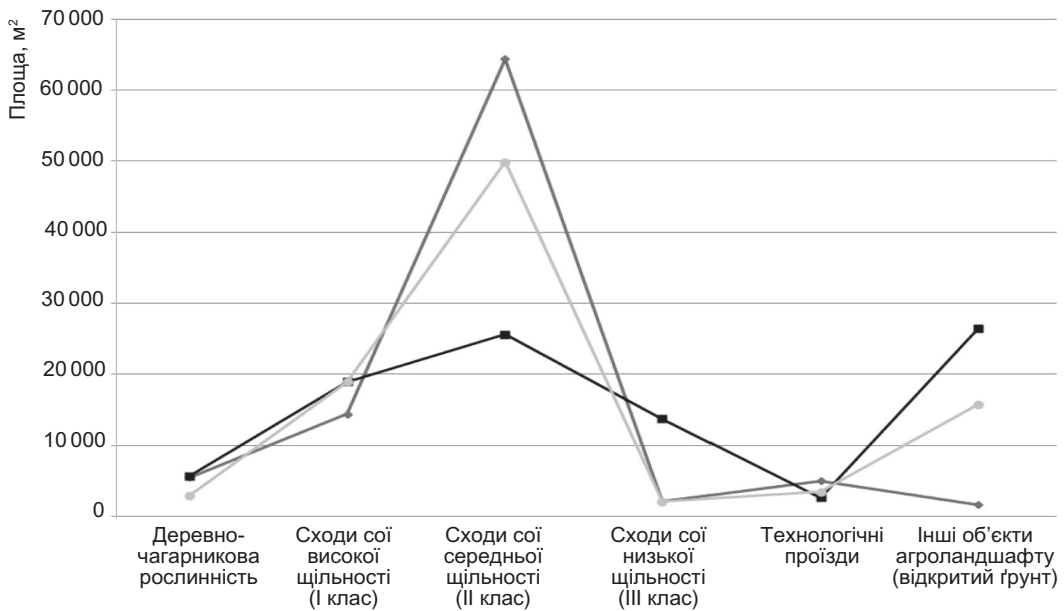


Рис. 2. Графічна інтерпретація результатів класифікації покриття: — оцифрування (контроль), — некерована класифікація, — керована класифікація

татами візуального оцифрування, що розглядається як умовно еталонний варіант для нашого дослідження. Такий підхід є поширеним у дослідженнях ДЗЗ [14, 15], оскільки дає змогу комплексно оцінити вплив алгоритму класифікації та участі експерта на кінцевий результат.

Так, методи некерованої класифікації широко застосовуються на початкових етапах аналізу й дають змогу оцінити загальну спектральну структуру зображення і потенційні межі між класами для контрастних покриттів, однак часто не забезпечують достатньої тематичної точності для складних або близьких за спектральними характеристиками типів покриття [15]. На противагу цьому методи керованої класифікації, навпаки, базуються на використанні навчальних вибірок та дають змогу цілеспрямовано розрізняти задані класи, що, згідно з [12], особливо важливо для аналізу агроценозів і рослинності на різних стадіях розвитку.

У таблиці наведено результати порівняння структури площ для основних класів об'єктів за ортофотопланом, що дає змогу обґрунтовано оцінити доцільність використання кожного методу для подальшого просторового аналізу й моніторингу агроландшафтів. Обчислення площі класів об'єктів, отриманих за допомогою візуального оцифрування, разом із результатами некерованої та керованої класифікації дало змогу виявити істотні відмінності у відтворенні просторової структури агроландшафту. Такі результати відповідають висновкам інших дослідників [2, 16], які відзначають важливість індивідуального підходу в кожному окремому випадку, проте погоджуються, що ефективність застосування керованої класифікації вища порівняно з некерованою.

Отримані результати засвідчили, що обидва автоматизованих методи класифікації демонструють різний ступінь відповідності контролю. Так, інтегральне відхилення часток класів (див. таблицю) для некерованої класифікації

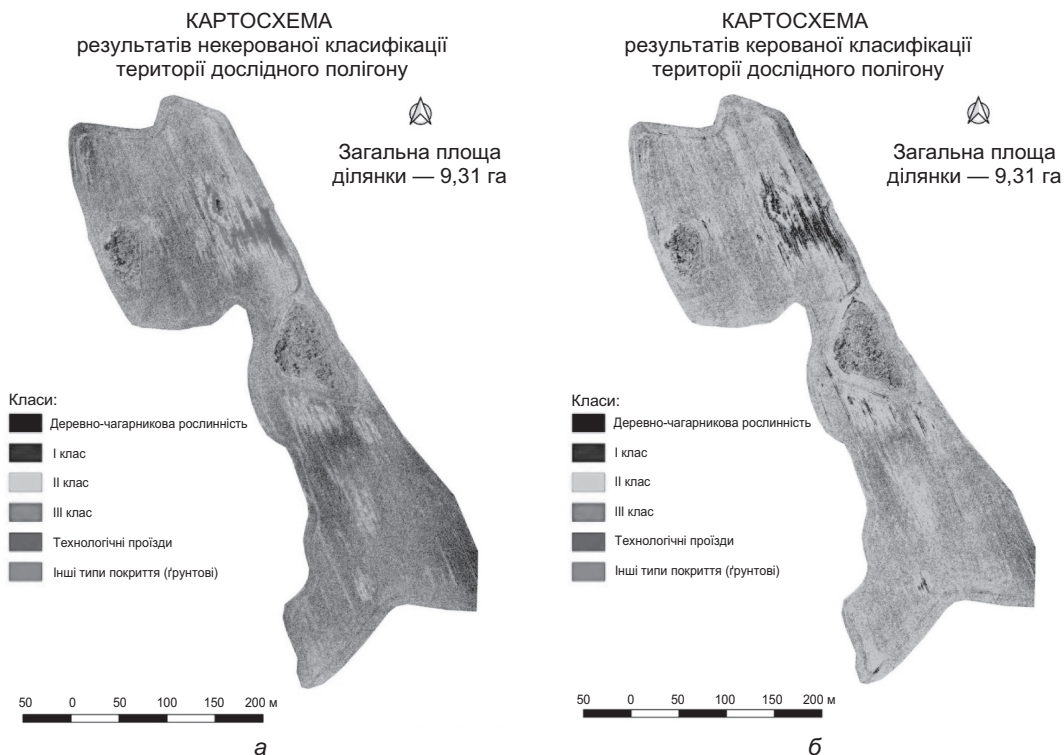


Рис. 3. Порівняння картосхем, отриманих за результатами класифікацій: а — керованої; б — некерованої

Джерело: розроблено Д.І. Бідолахом.

становить 14,7%, тоді як для керованої — лише 6,7%, що вказує на загалом вищу узгодженість результатів керованої класифікації з даними оцифрування. Аналіз результатів класифікації за окремими класами показує, що деревно-чагарникова рослинність у некерованій класифікації відтворена практично без відхилень, тоді як у керованій — її площу значно недооцінено, що може бути наслідком недостатньої спектральної контрастності з іншими типами рослинного покриття. Для щільних сходів сої обидва методи демонструють близьке за значенням завищення площ порівняно з оцифруванням, що свідчить про наявність систематичної помилки, незалежної від способу класифікації, яка може пояснюватися вкрапленнями цього типу

до інших типів покриття, яке важко визначити під час ручного оцифрування. Водночас найбільші розбіжності зафіксовано для класу сходів сої середньої щільності. Для сходів сої низької щільності некерована класифікація демонструє значне завищення площ, тоді як керована практично повністю відтворює еталонні значення. Аналогічну тенденцію спостерігають і щодо технологічних проїздів, де обидва підходи занижують площу, проте керована класифікація характеризується меншим відхиленням.

Статистичне оброблення результатів підтверджує сформульовані вище висновки. Так, середнє абсолютне відхилення часток класів у некерованій класифікації майже вдвічі перевищує відповідний показник у керованій.

Максимальне відхилення також є значно більшим у варіанті некерованої класифікації, що свідчить про високу варіабельність і нестабільність результатів. Керована класифікація характеризується меншою дисперсією помилок і більш збалансованим розподілом відхилень щодо еталонних значень. Отже, результати дослідження переконливо демонструють, що керована класифікація забезпечує істотно вищу відповідність даним візуального оцифрування та більш придатна для детального аналізу просторової структури посівів сої, що узгоджується з висновками [1, 14]. Некерована класифікація може бути використана лише для попередньої оцінки або виділення загальних, спектрально однорідних класів, проте її застосування для кількісної оцінки агрофітоценозів супроводжується значними систематичними помилками.

Оцифрування, яке в дослідженні розглядається як контроль, має очевидні переваги для виділення великих, візуально однорідних ділянок, проте водночас обмежує можливість детального картографування дрібних і просторово фрагментованих елементів. З огляду на це варто зазначити, що за допомогою автоматизованих методів класифікації, особливо некерованих, можна виявляти більше невеликих ділянок інших класів, які під час ручного оцифрування або узагальнюються, або не виокремлюються взагалі через обмеження масштабу та суб'єктивності інтерпретації. Такі висновки також узгоджуються з результатами досліджень [16], згідно з якими алгоритм фіксує спектральну різноманітність пікселів і відносить їх до окремого класу, тоді як під час оцифрування такі фрагменти часто включають до домінантних сусідніх класів.

Висновки

Використання БПЛА з RGB-камерами є перспективним напрямом моніторингу стану посівів завдяки доступності й низькій вартості оптичних камер для отримання детальних зображень із високою частотою порівняно з мульти- або гіперспектральними сенсорами. Для підвищення точності оцінювання стану рослин подальші дослідження необхідно зосередити на розробленні стандартів збирання та обробки даних, а також на інтеграції даних візуального діапазону з іншими джерелами інформації. До обмежень щодо застосування цього підходу варто віднести його чутливість до умов освітлення і брак спектральної інформації через відсутність інфрачервоного каналу, що звужує можливість аналізу показників стану рослинності.

Узагальнюючи результати досліджень, можна зробити висновок, що автоматизовані методи класифікації є ефективним інструментом для виявлення та кількісного оцінювання твердих і спектрально контрастних об'єктів відкритого ґрунту та ділянок різних сільськогосподарських культур, що відрізняються за спектральними характеристиками, а також для фіксації дрібноконтурних елементів, які складно оцифрувати в ручному режимі. Для детального аналізу структури рослинності, особливо поділу на класи за щільністю сходів, найбільш надійні результати забезпечують методи керованої класифікації в поєднанні з експертною візуальною інтерпретацією. Методи некерованої класифікації в такому разі можуть використовуватися лише як допоміжний або попередній етап аналізу.

Bidolakh D.¹, Yavorov V.², Havryliuk V.³, Kudla B.⁴

Separate subdivision of the National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine «Berezhany Agrotechnical Institute», 20 Akademichna Str., Berezhany, Ternopil oblast, 47501, Ukraine; e-mail: ¹Dimbid@ukr.net, ⁴kudlabogdan4@gmail.com; ORCID: ¹0000-0003-0248-3731, ²0009-0000-8511-0484, ³0009-0000-4358-2635, ⁴0009-0008-3604-5610

Methodical approaches to the analysis of the state of soybean crops based on the results of aerial photography from UAV

Goal. To substantiate the methodical approaches to analyzing the state of soybean crops based on the results of aerial photography with UAV by comparing manual vectorization, controlled classification according to the algorithm of maximum similarity, and uncontrolled classification of K-Means, as well as to determine the feasibility of their combination with expert visual interpretation to assess the spatial structure of the vegetation cover. **Methods.** Aerial photography of the test proving ground was performed with the help of the unmanned aerial vehicle DJI Phantom 4 Advanced with the subsequent photogrammetric study of materials and the formation of a highly detailed orthophotoplane. In the QGIS environment, visual decryption and manual vectorization of the main objects of the agro-landscape were carried out with the creation of polygonal layers. For automated mapping, methods of controlled classification according to the algorithm of maximum similarity and uncontrolled classification based on the K-Means algorithm were used. The accuracy of the results was evaluated by comparing the data of automated classifications with the data of manual digitization,

which was used as a reference (control) method. On the basis of the results obtained, empirical data were summarized to justify practical recommendations for the application of the studied approaches. **Results.** The study was conducted on the territory of the research farm of the Separate subdivision of the National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine «Berezhany Agrotechnical Institute» (vil. Pavliv, Ternopil district, Ternopil oblast) (49.452057°N; 24.805818°E) in may – august 2025. The obtained cartographic materials made it possible to quantify the areas of the main objects of the agro-landscape and identify problem areas with sparse shoots. Methods of controlled classification showed greater compliance with the digitization data (average deviation — 6.7%) compared to uncontrolled (14.7%), which were effective from the point of view of preliminary assessment of spectrally homogeneous sections, but did not provide an accurate division of shoots by density. Analysis of the spatial structure of coverage made it possible to plan local agrotechnical measures and assess the potential yield. **Conclusions.** Methodical approaches to analyzing the state of soybean crops based on the results of aerial photography with a UAV equipped with RGB cameras are promising and economically feasible. Automated classification methods are effective for highlighting hard and contrasting objects and small-contoured areas, while a detailed assessment of the structure of the vegetation cover is advisable to carry out using a controlled classification in combination with expert visual interpretation.

Key words: controlled classification, uncontrolled classification, crop mapping, spectral analysis, unmanned aerial vehicles (UAV). DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202608-01>

Бібліографія

1. Khare S. Remote Sensing Imagery Sensors and Image Interpretation. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*. 2021. 9:9. P. 606–607. doi: 10.22214/ijraset.2021.38019

2. Kalaiselvi P., Chaurasia J., Krishnaveni A. et al. Harvesting Efficiency: The Rise of Drone Technology in Modern Agriculture. *Journal of Scientific Research and Reports*. 2024. 30(6). P. 191–207. doi: 10.9734/jsrr/2024/v30i62033

3. Skakun S., Kalecinski N.I., Brown M.G.L. et al. Assessing within-Field Corn and Soybean Yield Variability from WorldView-3, Planet, Sentinel-2, and Landsat 8 Satellite Imagery. *Remote Sensing*. 2021. 13(5). P. 872. doi: 10.3390/rs13050872
4. Солоха М.О. Методичний підхід обробки аерофотознімків на основі аерофотозйомки. *Таврійський науковий вісник*. 2019. № 110. Ч. 1. С. 142–146.
5. Wang L., Huang X., Li W. et al. Progress in Agricultural Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) Applied in China and Prospects for Poland. *Agriculture*. 2022. 12(3):397. doi: 10.3390/agriculture12030397
6. Chakraborty S., Devaraj E., Govindarajan P.L. et al. A Comprehensive Review of Path Planning for Agricultural Ground Robots. *Sustainability*. 2022. 14(15):9156. doi: 10.3390/su14159156
7. Unger Holtz T. Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective, Third Edition. *Environmental and Engineering Geoscience*. 2007. 13(1). P. 89–90. doi: 10.2113/gseegeosci.13.1.89
8. Zheng Y., Zhang M., Zhang X. et al. Mapping Winter Wheat Biomass and Yield Using Time Series Data Blended from PROBA-V 100- and 300-m S1 Products. *Remote Sensing*. 2016. 8(10):824. doi: 10.3390/rs8100824
9. Синьглазов В., Конюшенко Р. Оптимізація покриття території дронами у сільському господарстві: огляд та нові підходи. *Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології*. 2025. Т. 3. № 85. С. 48–59. doi: 10.18372/1990-5548.85.20431
10. Xiao C., Nguyen V.Ch., Quang D.T. et al. Comprehensive Investigation on Lithium Batteries for Electric and Hybrid-Electric Unmanned Aerial Vehicle Applications. *Thermal Science and Engineering Progress*. 2023. 38:101677. doi: 10.1016/j.tsep.2023.101677
11. Campos I., González-Gómez L., Villodre Ju. et al. Mapping within-field variability in wheat yield and biomass using remote sensing vegetation indices. *Precision Agriculture*. 2018. 20(2). P. 214–236. doi: 10.1007/s11119-018-9596-z
12. Duguma A.L., Bai X. How the internet of things technology improves agricultural efficiency. *Artificial Intelligence Review*. 2025. 58:63. doi: 10.1007/s10462-024-11046-0
13. Support für Phantom 4 Advanced — DJI Deutschland. *DJI*. URL: <https://www.dji.com/global/support/product/phantom-4-adv> (дата звернення: 26.12.2025).
14. Досужий В. Застосування безпілотних літальних апаратів у сільському господарстві України. *Науковий вісник Львівської академії. Серія: Економіка, менеджмент та право*. 2019. Т. 1. С. 119–125. doi: 10.33251/2707-8620-2019-1-119-125
15. Lu X., Yang Z., Liu Y. et al. Remote Sensing Image Processing Assisted Based on Computer Digital Technology. *Journal of Physics: Conference Series*. 2021. 1992(3):032068. doi: 10.1088/1742-6596/1992/3/032068
16. Pantazi X.E., Moshou D., Alexandridis T. et al. Wheat yield prediction using machine learning and advanced sensing techniques. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2016. 121. P. 57–65. doi: 10.1016/j.compag.2015.11.018