

УДК 631.81

## Методичні підходи до ідентифікації рослин в оптичному діапазоні за моніторингу з використанням безпілотного літального апарату

Н.А. Пасічник\*, В.П. Лисенко, О.О. Опришко

Національний університет біоресурсів і природокористування України  
Київ, Україна

ІНФОРМАЦІЯ	АНОТАЦІЯ
Отримано 01.02.2020 Отримано після доопрацювання 11.03.2020 Затверджено до друку 16.03.2020 Доступно онлайн 01.06.2020	Застосування безпілотних літальних апаратів (БПЛА), як платформи для сенсорного обладнання, має розширити потенціал спектральних досліджень і забезпечити можливість отримання даних, придатних для управління врожаєм. Метою роботи є розроблення методу програмної ідентифікації на цифрових знімках посівів культури суцільного висіву пікселів, що відповідають саме рослинам, а також оцінка горизонтальної проекції куполу рослин. Ідентифікацію рослинних насаджень для культур суцільного висіву виконували в 2017-2018 роках на дослідному стаціонарі з вивчення системи застосування добрив НУБІП України на прикладі пшениці озимої сорту Colonia в стадії вегетації куцнення та вихід у трубку. Зйомку здійснювали з допомогою БПЛА Phantom 3+ з висоти 40-100 метрів камерою FC200. Цифрову обробку графічних даних формату jpeg проводили в програмному середовищі MathCAD, де графічні дані розглядалися у вигляді матриці, кількість стовбців якої була втричі більшою за кількість пікселів по горизонталі вихідного зображення. Досліджували ефективність каскадних фільтрів та спеціалізованих індексів EGVI, ERVI та MNVI. Встановили, що фільтрація ґрунту по окремому каналу за умов оптичного моніторингу рослинних насаджень виявилась недостатньо ефективною для культур суцільного висіву. Індеси для ідентифікації рослин в оптичному діапазоні EGVI, ERVI та MNVI, створені для висот в 5-7 метрів, виявились неідеальними для висот від 40 м і вище, а тому їх використання у виробничих масштабах є недоцільним. Виходячи з результатів розробили методику ідентифікації рослин для практичного використання на основі спектральних портретів рослин, що базується на оцінці різниці між значеннями інтенсивностей зеленого та синього каналів пікселю. Запропонували для створення вегетаційних індексів з метою ідентифікації культур суцільного висіву використовувати горизонтальну проекцію куполу рослин як частку загальної площі зображення, що належить куполу рослин.
<p><i>Ключові слова:</i></p> <p>безпілотний літальний апарат; БПЛА; дистанційний моніторинг; образ об'єкту; пшениця озима.</p>	

\*E-mail: n.pasichnyk@nubip.edu.ua

*Форма цитування:* Пасічник Н.А., Лисенко В.П., Опришко О.О. Методичні підходи до ідентифікації рослин в оптичному діапазоні за моніторингу з використанням безпілотного літального апарату. *Агрохімія і ґрунтознавство*. Міжвід. тем. наук. збірник. Вип. 89. Харків: ННЦ "ІГА ім. О.Н. Соколовського". 2020. С. 90-97. DOI: <https://doi.org/10.31073/acss89-10>.

### 1. Вступ

Дистанційний спектральний моніторинг посівів із використанням літаків та супутників ефективно застосовувався для оцінки майбутнього врожаю. Застосування безпілотних літальних апаратів (БПЛА), як платформи для сенсорного обладнання, має розширити потенціал спектральних досліджень і забезпечити можливість отримання даних, придатних для керування врожаєм. Одним із ефективних способів технологічного менеджменту врожаю, з дотриманням принципу максимального прибутку, є диференційоване підживлення посівів. Пшениця озима, як відомо, має кілька критичних періодів щодо азотного живлення і, відповідно, обмежених часових відрізків для її ефективного підживлення. Одним із таких періодів є весняне куціння, період, коли власник посівів повинен оцінити їх стан та потребу в добривах.

Технології дистанційного моніторингу, що використовують інфрачервоний діапазон, мають певні методологічні проблеми в ідентифікації стану посівів, оскільки рослинні залишки від попередньої культури можуть спотворити отримані результати. Традиційний спектральний моніторинг з використанням супутників не дозволяє оцінити габарити рослин, що також є інформативним параметром їх стану. Існує наземне обладнання, створене для оцінки індексу листової поверхні (LAI), на прикладі LAI-2000. Проте для пшениці озимої у фазі куціння воно, за результатами Grant D. Pearse та ін. [1], також є неефективним через малі розміри рослин. В оглядовій роботі Yan Guangjian та ін. [2], присвяченій опосередкованим методам вимірів LAI, рекомендовано як апаратні методи з використанням лазерних радарів (LiDAR), так і програмні засоби на стандартному спектральному обладнанні.

Використання для моніторингу рослин LiDARів, технічних засобів накопичення та обробки інформації, що здатні фіксувати і висоту рослин, описане в роботах Yue Pan та ін. [3].

У той же час слід враховувати, що на стадії кушіння ширина листка становить кілька міліметрів, а висота рослин – кілька сантиметрів, що з урахуванням нерівностей рельєфу поля є замалим для отримання достовірних даних, як це показано в дослідженні Tai Guo та ін. [4]. До того ж, в означену фазу для пшениці озимої найбільш актуальною є інформація про «загальну площу листків», а не «довжину окремого листка». Окрім того, вартість LiDARів поки що є порівняно високою, що слід враховувати з огляду на перспективу їх масового використання, як це зазначається в роботі W.A. Dorigo та ін. [5].

Наявне на ринку серійне спектральне обладнання, адаптоване під БПЛА, має високу здатність розрізнення, що дозволяє візуально відрізнити рослини від ґрунту, органічних залишків тощо. Відповідно, метою роботи стало розроблення методу програмної ідентифікації на цифрових знімках посівів пікселів, що відповідають саме рослинам, а також оцінка горизонтальної проекції куполу рослин.

Наземним індексом LAI оцінюють площу листової поверхні за тінню на поверхні землі як рефлекторний аналог. У роботі B.D. Thomson та K.H.M. Siddique [6] запропоновано індекс зеленої площі (Green Area Index - GAI), яким враховано площу листків, стебла тощо. В роботі F.Varet та ін. [7] описано адаптацію його для БПЛА шляхом особливого спрямування сенсору під кутом 57.5°. Запропоноване рішення було використане на початкових стадіях вегетації пшениці та ріпаку озимих у роботі A. Verger та ін. [8], де відзначено більшу стійкість GAI, порівняно з суто спектральними індексами, щодо змін освітлення. Проте авторами, попри вжиті заходи щодо зменшення впливу тіні шляхом вибору напрямів польоту, було отримано середню точність лише за 3-кратних експериментальних даних, що ускладнює впровадження технології у виробництво.

Програмну ідентифікацію спектральних даних на супутникових знімках пшениці для боротьби з бур'янами представлено в роботі I.L.Castillejo-González та ін. [9], де використовувались різноманітні піксельні та об'єктні методи ідентифікації. Проте, для супутникових даних ідентифікація була полегшена – для представлених полів було лише два варіанти її проведення, а для БПЛА їх буде значно більше. Автори відзначили високу вартість моніторингу за умов використання систем машинного навчання. Із співвідношення якості/вартість було обрано піксельний аналіз.

Піксельний аналіз за результатами моніторингу з використанням БПЛА широко засовується для вирішення багатьох задач, у тому числі, таких як визначення кількості та щільності паростків, що показано в роботі J.Torres-Sánchez та ін. [10]. Автори використовують підхід щодо граничного значення для гістограми сірого кольору та пропонують спеціальний спектральний індекс – надлишковий зелений (excess green ExG)  $= (2G-R-B)/(R+G+B)$ . Зазначене розглянуто в роботі Xiuliang Jin та ін. [11], де оцінювалася щільність посівів пшениці за надвисокої здатності розрізнення камери в 0,2 мм/піксель. Додатково до індексу ExG на базі індексів EGVI (excess green vegetation index)  $= 2G-R-B$  та ERVI (excess red vegetation index)  $= 1.4R-B$  запропонували індекс MNVI (Meyer-Neto vegetation index)  $= 2G-2B-2.4R$ . За додатних значень MNVI піксель вважали таким, що належить рослинам, а за від'ємних – відповідно, ґрунту. Такий підхід не потребує використання значних обчислювальних потужностей, що є корисним для промислових масштабів. Проте в роботі не описано врахування змін освітлення, що може вплинути на різницю величин спектральних каналів, на якій і побудовано механізм ідентифікації. На додаток, такий алгоритм розраховано лише на дві градації і, не зрозуміло, як у такому випадку система спроможна враховувати, наприклад, наявність тіні на рослинах, що неодмінно з'явиться у більш пізніх фазах вегетації. Крім того, забарвлення рослин може відрізнитися від зеленого кольору через, зокрема, післядію гербіцидів, як показано на прикладі ріпаку озимого, M. Dolia та ін. [12]. Можливість налагодження системи ідентифікації рослин з використанням каскадних фільтрів показана в роботі V. Lysenko та ін. [13]. Проте ефективність системи не перевіряли для культур суцільного висіву, зокрема озимих, де можуть бути присутніми залишки культури попередника. У роботі F.M. De Rainville та ін. [14] для фільтрації бур'янів на просапних культурах використали фільтр, побудований на оцінці габаритів, проте на початкових стадіях вегетації розміри рослинних залишків можуть перевищувати габарити сходів.

Проблема ідентифікації й визначення спектральних параметрів саме рослинних насаджень є актуальною. Нині серійно випускається спеціалізований спектральний комплекс Slantrange, описаний у роботі J. Encisoa та ін. [15], де завдяки програмному забезпеченню Slantview, фільтрується ґрунт й інші сторонні вклучення. Алгоритм розрахунку компанією не наводиться і, відповідно, налагодження здійснюється оператором в ручному режимі, завдяки чому автори роботи, для отримання відтворюваних результатів при обчисленні вегетаційних індексів, використовували додаткове програмне забезпечення.

Огляд літературних джерел дозволяє зробити висновки:

- розмір поверхні рослин є перспективним параметром для оцінки стану посівів, потенційно стійким до зміни освітлення;
- попіксельний аналіз для ідентифікації рослин має переваги у співвідношенні якість/ціна, порівняно з об'єктовим аналізом;
- за використання RGB простору для ідентифікації рослин перспективними є індекси EGVI, ERVI та MNVI;
- механізми каскадної фільтрації, побудовані на межових значеннях і розроблені для просапних культур, доцільно перевірити на культурах суцільного висіву за наявності на полі залишків культури попередника.

Метою роботи є розроблення методу програмної ідентифікації на цифрових знімках посівів культури суцільного висіву пікселів, що відповідають саме рослинам, а також оцінка горизонтальної проекції куполу рослин.

## 2. Об'єкти (матеріали) і методи досліджень

Ідентифікацію рослинних насаджень для культур суцільного висіву виконували для пшениці озимої. Дослідження проводили в 2017-2018 роках на полях багаторічного стаціонарного дослідження кафедри агрохімії та якості продукції рослинництва НУБіП України (GPS координати: 50°4'30"N, 30°13'21"E), де вивчаються системи застосування добрив. Розглядалися 6 варіантів внесення добрив: 0 – без добрив; 1 – P<sub>80</sub>; 2 – P<sub>80</sub>K<sub>80</sub>; 3 і 4 – N<sub>90</sub>P<sub>80</sub>K<sub>80</sub>; 5 – N<sub>135</sub>P<sub>120</sub>K<sub>120</sub>.

Моніторинг проводили 05.05.2017 (Рис. 1). Посіви пшениці перебували у фазі виходу в трубку, ґрунт на поверхні поля був у повітряно-сухому стані. У 2018 році моніторинг пшениці озимої сорту Colopia здійснювали 12.04 у фазу куціння (Рис. 2). Ґрунт у полі в день моніторингу був у зволоженому стані.



Рис. 1. Посіви пшениці озимої 05.05.2017 (висота зйомки 100 метрів)



Рис. 2. Посіви пшениці озимої 12.04.2018 (висота зйомки 40 метрів)

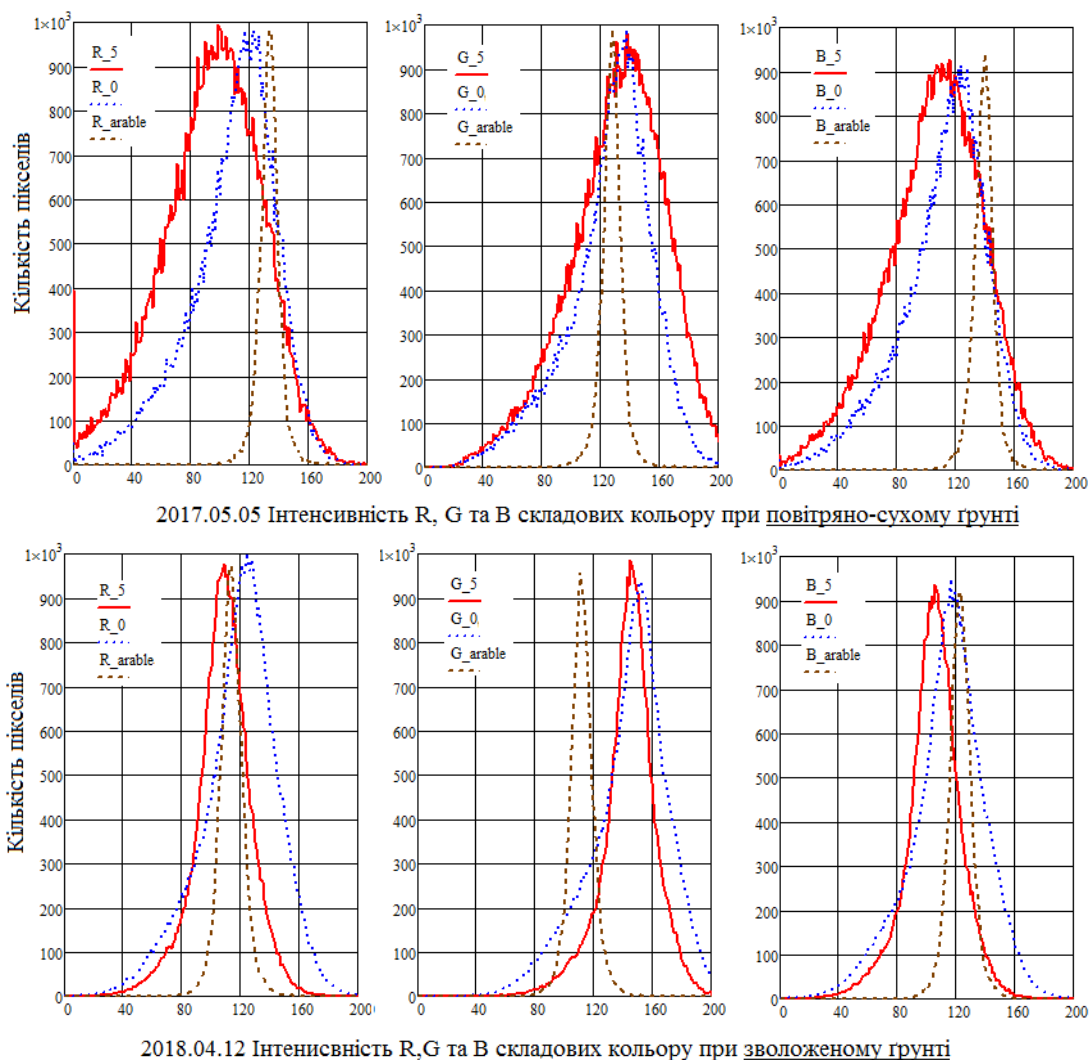
Спектральні параметри визначали з використанням штатної фотокамери квадрокоптеру DJI Phantom 3+ FC200. Радіометричне калібрування щодо змін освітлення

здійснювали на базі службових даних з exiff файлу про величину Light Value (LV). Параметри налагодження цифрової фотокамери у дослідженнях: Aperture Value – 2.8; Light Source – Fine Weather. Розмір знімку – 4384×2466 пікселів. Цифрову обробку графічних даних формату jpeg проводили в програмному середовищі MathCAD (version 14.0.0.163), а статистичну обробку результатів – у програмному середовищі OriginPro v.8 від OriginLab Corporation.

### 3. Результати досліджень

#### 3.1 Оцінка ефективності каскадних фільтрів

Для досліджень було вибрано дві ділянки з рослинами та одну без них. Для врахування максимального діапазону мінерального живлення було відібрано варіанти 0 (без добрив) і 5 (150 % норма мінеральних добрив -  $N_{135}P_{120}K_{120}$ ). Для запобігання нерівномірності стану з висоти 100 метрів фіксували 80-90 % площі розмежованої ділянки. Значення світowego числа LV становило 12,8. Зі знімку, виконаного з висоти 40 метрів, було окремо визначено ділянку ріллі із рослинними залишками від попереднього року. Для наочності було введено додатковий коефіцієнт, щоб максимум розподілу відповідав діапазону 900-1000 одиниць. Здобуті результати представлено на рис. 3.



Варіанти досліджу: 0 – без добрив; 5 – 150 % рекомендованої дози добрив; arable – рілля із залишками рослин;  
R - червона, G – зелена, B – синя складові кольору

**Рис. 3.** Залежність кількості пікселів від інтенсивності складової кольору

Аналізом спектральних портретів ділянок на варіантах, що досліджувались, визначено, що всі залежності є характерними для нормального розподілу. Для їх апроксимації використовували нелінійне рівняння Lorentz. Аналіз отриманих результатів

для ріллі із залишками рослин дозволив встановити значення інтенсивності складових кольору за RGB каналами, що давали максимальну кількість пікселів (134,128,141 відповідно). Для ділянок із рослинами, за відсутності добрив, максимуми розподілу становили 116,133,120 пікселів, а за 150 % норми добрив – 97,136,119, відповідно. Таким чином, для поверхні ріллі, що перебуває у повітряно-сухому стані, за наявності рослинних залишків, не вдалось знайти діапазон для однозначної ідентифікації саме ґрунту, оскільки діапазони інтенсивності кольорів мають незначну різницю.

Для зволоженого стану ґрунту максимуми розподілу становили: для посівів без добрив – 123,150,117 пікселів; за 150 % норми добрив – 109,146,106; для ріллі – 114,112,123. У випадку вологого ґрунту зелений канал виявився придатним для фільтрації, проте при цьому було зафіксовано діапазон інтенсивності складової кольору від 40 до 80, де рослини були темнішими за ґрунт. Ймовірним поясненням цього є перебування ґрунту в тіні від рослин.

### 3.2 Оцінка ефективності індексів EGVI, ERVI та MNVI

Для оцінки індексів, запропонованих Х. Jin та ін. [11], визначали складові кольору ділянок після видалення сторонніх включень, а також частку від загальної площі, що її займали рослини (площа горизонтальної проєкції куполу S, %). Здобуті результати наведено в таблиці 1.

**Таблиця 1**

*Спектральні та габаритні показники пшениці озимої, ідентифіковані з використанням індексів EGVI, ERVI та MNVI*

Рік, варіант	EGVI=2G-R-B				ERVI=1.4R-B				MNVI=2G-2B-2.4R			
	R	G	B	S, %	R	G	B	S, %	R	G	B	S, %
2017 - 0	108	126	112	99,8	109	127	112	99	9	33	13	0,5
2017 - 1	105	128	112	99,8	107	130	113	98	8	37	16	1,1
2017 - 2	97	128	105	100	100	131	108	97	10	43	19	2,1
2017 - 3	97	130	106	100	99	133	108	97	11	46	20	2,0
2017 - 4	95	130	105	100	98	134	108	96	11	47	22	2,3
2017 - 5	94	131	106	100	98	135	109	95	11	49	23	2,7
2018 - 0	119	144	114	100	119	144	114	100	33	63	114	0,6
2018 - 1	119	145	114	100	119	145	114	100	39	67	114	0,2
2018 - 2	115	145	110	100	115	145	110	100	41	74	109	0,4
2018 - 3	113	144	108	100	113	144	108	100	43	77	108	0,6
2018 - 4	110	143	106	100	110	143	106	100	45	82	106	0,7
2018 - 5	109	144	105	100	109	144	105	100	47	86	105	0,6

За даними аналізу, що наведені в табл.1, виявили, що використання індексів EGVI, ERVI та MNVI для ідентифікації рослин за отриманими у польових умовах фотознімками посівів пшениці не є ефективним. Так, візуальна оцінка ділянок на варіантах без внесення добрив (0) показує, що кількість пікселів, що не належать рослинам, становить десятки відсотків та кілька відсотків відповідно (Рис. 1), а не частки відсотка, як обчислено для індексу EGVI. Зі збільшенням кількості добрив до 150 % норми габарити рослин мали б зростати, а не зменшуватись, як це було обчислено для індексу ERVI. За індексом MNVI відсоток рослин зростав за поліпшення умов мінерального живлення, проте як рослини були ідентифіковані лише від 0,5 до 3 % загальної площі, що вочевидь також є помилковим. На думку авторів, такі результати можуть бути обумовлені тим, що паростки пшениці мають природну неоднорідність забарвлення і за такої ідентифікації фіксувалась лише частина рослини, що й обумовило малий відсоток відібраних пікселів.

### 4. Обговорення результатів

Ймовірно, причиною неспрацьовування індексів EGVI, ERVI та MNVI є те що розробники використовували надвисоку здатність розрізнення за малої висоти польоту. Так, Х. Jin та ін. в описаних дослідженнях [11] використовували розмір знімків 6024×4024 пікселів за висоти польоту 3-7 метрів. За висоти 100 метрів доцільно враховувати й

особливості формату збереження даних, оскільки в форматі jpeg визначаються області з однаковим забарвленням, на відміну від формату bmp, де фіксується колір кожного пікселя. Цифрові камери, зазвичай, мають можливість збереження даних, окрім стандартного формату jpeg, у якому можлива часткова втрата якості за суттєвого зменшення розміру файлу і в таких форматах як raw. Проте обсяг файлів стає завеликим, що принципово ускладнює його використання у промислових масштабах. З цієї причини методика моніторингу передбачає ідентифікацію рослин, що здійснюється камерою з єдиним об'єктивом для всіх наявних каналів, із адаптацією під формат jpeg.

Ідея ідентифікації рослин для індексів EGVІ, ERVІ та MNVІ побудована на розпізнаванні образів рослин і їх відмінностей від ґрунту у разі поєднання різних спектральних каналів. Так, аналізуючи дані на рис. 3, робимо висновок, що значення інтенсивності зеленої складової (G) для максимуму розподілу перевищували значення для червоної (R) та синьої (B) складових. Для ґрунту – навпаки. Тобто, якщо для пікселю величина зеленої складової більша за червону чи синю, її можна ідентифікувати як таку, що відповідає рослині. В індексах EGVІ та MNVІ використовували як червоний, так і синій канали, а індекс ERVІ побудовано виключно на означених каналах. При цьому найбільшу різницю значень фіксували саме між зеленим та червоним каналами. Водночас, червоний канал виявив найбільшу чутливість щодо рівня мінерального живлення, тоді як показник синього був стабільним. Виходячи з можливих змін норм висіву й нерівномірності схожості насіння, використання синього каналу матиме потенційно більшу достовірність. За організації фільтрації було передбачено можливість налагодження фільтрів, а саме попиксельного зображення рослин, дотримуючись умови  $G-B \geq \text{Wheat}$ , де Wheat – налагодження фільтрації.

У фазу «вихід у трубку» рослини мають меншу площу покриття, відповідно, вплив ґрунту на результати спектрального моніторингу буде більшим. Тому запропонований метод ідентифікації рослин використали для даних, отриманих 2017.05.05 (Табл. 2.).

**Таблиця 2**

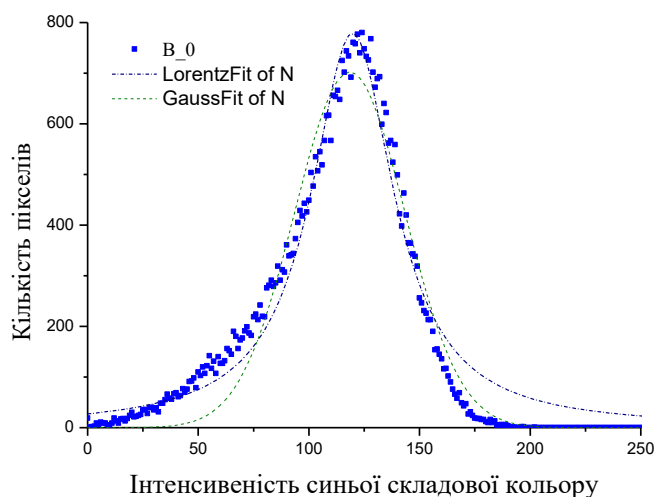
*Спектральні та габаритні показники рослин пшениці озимої, ідентифіковані з використанням запропонованої методики для даних моніторингу 2017.05.05*

Ва- ріант	Wheat $\geq 4$				Wheat $\geq 8$				Wheat $\geq 12$				Wheat $\geq 20$			
	R	G	B	S, %	R	G	B	S, %	R	G	B	S, %	R	G	B	S, %
0	108	127	111	96	107	127	110	87	105	127	108	67	103	128	104	24
1	105	128	111	95	104	128	110	85	102	129	108	67	99	130	105	34
2	97	128	105	100	97	128	110	99	97	129	105	97	96	130	104	70
3	97	130	105	100	97	130	105	99	96	131	105	96	95	131	104	78
4	95	130	105	100	95	130	105	100	95	130	105	98	94	131	104	82
5	94	131	105	100	94	131	105	100	94	131	106	99	93	132	104	89

Примітка: Wheat – налагодження фільтрації

Результати, отримані за умов попиксельного аналізу для розпізнавання образу об'єкта, істотно відрізнялися від тих, що були отримані шляхом апроксимації експериментальних даних для кожного каналу окремо. Так, для ділянки без удобрення розраховані величини RGB при фільтрації становили 108,127,111, а апроксимовані без фільтрації рівняннями для нормального розподілу становили 116,133,120. Фільтрація 5 % пікселів при  $\text{Wheat} \geq 4$ , не може обумовити таку різницю в показниках і ймовірно причиною цього є похибки апроксимації, пов'язані зі специфікою розподілу величин інтенсивності складових кольору (Рис. 4).

У запропонованому методі ідентифікації рослин вдалось скоригувати результати вимірів інтенсивності складових кольору. Із збільшенням межового значення Wheat для повітряно-сухого стану ґрунту значення інтенсивності складових кольору пшениці зменшились. Особливо це стосувалось варіантів 0 та 1 із меншими за габаритами рослинами. Зменшення впливу фіксації ґрунту покращить відтворюваність отриманих результатів, що актуально для наявної номенклатури різних типів і підтипів ґрунтів України. Становлять інтерес результати обчисленої горизонтальної проекції куполу рослин, яка змінювалася більше ніж у 3 рази. Зазначений показник може бути використаний для оцінки врожаю як додатковий.



**Рис. 4.** Результати апроксимації залежності кількості пікселів від величини інтенсивності синьої складової кольору для варіанту без добрив

## 5. Напрямок подальших досліджень

Горизонтальна проекція куполу рослин є перспективним показником для створення вегетаційних індексів для сенсорного обладнання БПЛА. Проте, на відміну від спектральних показників, його значення залежить від параметрів фільтрації (Табл. 2). Для обґрунтування вибору цього параметру доцільно поєднати моніторинг в оптичному діапазоні з результатами мультиспектральної зйомки в інфрачервоному діапазоні та наземними вимірами габаритів рослин.

## 6. Висновки

Фільтрація ґрунту по окремому спектральному каналу за умов оптичного моніторингу рослинних насаджень виявилась недостатньо ефективною для культур суцільного висіву.

Індекси для ідентифікації рослин в оптичному діапазоні EGVI, ERVI та MNVI, створені для висот в 5-7 метрів, виявились недієздатними для висот від 40 м і вище, а тому їх використання для промислових масштабів виробництва в таких умовах є недоцільним.

Для моніторингу в оптичному діапазоні пропонується алгоритм розпізнавання рослин, що базується на оцінці різниці між значеннями інтенсивностей зеленого та синього каналів пікселю.

Для створення вегетаційних індексів з метою ідентифікації культур суцільного висіву доцільно використовувати горизонтальну проекцію куполу рослин як частку загальної площі зображення, що належить куполу рослин.

## Список використаних джерел

1. Pearse G.D., Watt M.S., Morgenroth J. Comparison of optical LAI measurements under diffuse and clear skies after correcting for scattered radiation. *Agricultural and Forest Meteorology*. 2016. Vol.221. P. 61-70. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2016.02.001>.
2. Review of indirect optical measurements of leaf area index: Recent advances, challenges, and perspectives / Y. Guangjiana, H. Ronghai, L. Jinghui [et al.]. *Agricultural and Forest Meteorology*. 2019. Vol.265. P. 390-411. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2018.11.033>.
3. Yue Pan 3D (2019) Reconstruction of Ground Crops Based on Airborne LiDAR Technology / Y. Pan, Y. Han, L. Wang [et al.]. *IFAC-PapersOnLine*. Vol.52 (24), P. 35-40. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2019.12.376>.
4. Detection of wheat height using optimized multi-scan mode of LiDAR during the entire growth stages / Tai Guoa, Yuan Fanga, Tao Chenga, [et al.]. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2019. Vol.165. Article 104959. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.104959>.
5. A review on reflective remote sensing and data assimilation techniques for enhanced agroecosystem modeling / W.A. Dorigo, R. Zurita-Milla, A.J.W. de Wit [et al.]. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 2007. Vol.9 P. 165-193. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jag.2006.05.003>.
6. Thomson B.D., Siddique K.H.M. (1997) Grain legume species in low rainfall Mediterranean-type environments II. Canopy development, radiation interception, and dry-matter production. *Field Crops Research*. 1997. Vol. 54, (2-3). P. 189-199. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0378-4290\(97\)00048-8](https://doi.org/10.1016/S0378-4290(97)00048-8).

7. GAI estimates of row crops from downward looking digital photos taken perpendicular to rows at 57.5° zenith angle: Theoretical considerations based on 3D architecture models and application to wheat crops / F. Baret, B. de Solana, R. Lopez-Lozano, [et al.]. *Agricultural and Forest Meteorology*. 2010. Vol.150. P. 1393–1401. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2010.04.011>.
8. Green area index from an unmanned aerial system over wheat and rapeseed crops / A. Verger, N. Vigneau, C. Chéron [et al.]. *Remote Sensing of Environment*. 2014. Vol.152. P. 654-664. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2014.06.006>.
9. Evaluation of pixel- and object-based approaches for mapping wildoat (*Avena sterilis*) weed patches in wheat fields using QuickBirdimagery for site-specific management / I.L. Castillejo-González, J.M. Peña-Barragán, M. Jurado-Expósito [et al.]. *European Journal of Agronomy*. 2014. Vol.59. P. 57-66. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eja.2014.05.009>.
10. Torres-Sánchez J., López-Granados F., Peña J.M. An automatic object-based method for optimal thresholding in UAV images: Application for vegetation detection in herbaceous crops / J.Torres-Sánchez, F.López-Granados, J.M.Peña // *Computers and Electronics in Agriculture*. 2015. Vol.114. P. 43-52. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2015.03.019>.
11. Estimates of plant density of wheat crops at emergence from very low altitude UAV imagery / X. Jin, S. Liu, F. Baret [et al.]. *Remote Sensing of Environment*. 2017. Vol. 198. P. 105-114. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.007>;
12. Information Technology for Remote Evaluation of after Effects of Residues of Herbicides on Winter Crop Rape / Dolia M., Lysenko V., Pasichnyk N. [et al.]. 3rd International Conference on Advanced Information and Communications Technologies, AICT 2019. Proceedings. P. 469-473. DOI: <https://doi.org/10.1109/AIACT.2019.8847850>.
13. Information Support of Remote Monitoring of Grain Crops Biomass Amount as the Feedstock to Load Biogas Reactors / V.Lysenko, D.Komarchuk, N.Pasichnyk [et al.]. International Scientific-Practical Conference on Problems of Infocommunications Science and Technology, PIC S and T 2018. Proceedings. P. 35-38. DOI: <https://doi.org/10.1109/INFOCOMMST.2018.8632090>.
14. Bayesian classification and unsupervised learning for isolating weeds in row crops. / F.-M.De Rainville, A. Durand, F.-A. Fortin [et al.]. *Pattern Analysis and Applications*. 2012. Vol. 17(2). P.401–414. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10044-012-0307-5>.
15. Validation of agronomic UAV and field measurements for tomato varieties / J. Enciso, C.A. Avila, J. Jung [et al.]. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2019. Vol.158. P. 278-283. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.02.011>.

UDC 631.81

## Methodical approaches for the identification of plants in the optical range by monitoring crops using Unmanned aerial vehicles (UAVs)

N.A. Pasichnyk, V.P. Lysenko, O.O. Opryshko

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

\*E-mail: n.pasichnyk@nubip.edu.ua

The use of Unmanned aerial vehicles (UAVs) as a platform for sensor equipment, should extend the potential of spectral research and enable the acquisition of data suitable for crop management. The purpose of the work was to develop a method of programmatic identification on digital images of pixels crops of, which correspond exactly to the plants, as well as to evaluate the horizontal projection of the dome of plants. The identification of plantations for crops of continuous sowing was performed in 2017-2018 at an experimental site to study the system of application of fertilizers National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine on the example of wheat winter variety Colonia in the stage of vegetation tillering and the exit to a tube. Filmed with a Phantom 3+ UAV from a height of 40-100 meters using an FC200 camera. Digital processing of jpeg format data performed in MathCAD, where the graphic data viewed as a matrix whose number of columns was three times that of the pixels horizontally of the original image. The effectiveness of cascade filters and specialized EGVI, ERVI, and MNVI indices investigated. It found that cascade soil filtration under the conditions of optical monitoring of plantations proved not to be effective enough for continuous seeding crops. EGVI, ERVI and MNVI optical indices for plant identification, designed for heights of 5-7 meters, have been found to be incapable of altitudes of 40 m and above, so their use for industrial production in these conditions is impractical. Based on the obtained results, they developed a technique for identifying plants for industrial use based on spectral portraits of plants based on estimating the difference between the intensities of the green and blue pixel channels. To create vegetation indices in order to identify crops of continuous seeding, it is necessary to use a horizontal projection of the dome of plants as a fraction of the total area of the image belonging to the dome of plants.

**Keywords:** remote monitoring, UAVs, winter wheat, object image.

*Citing:* Pasichnyk N.A., Lysenko V.P., Opryshko O.O. 2020. Methodical approaches for the identification of plants in the optical range by monitoring crops using Unmanned aerial vehicles (UAVs). *Agrochemistry and Soil Science*. Collected papers. No. 89. Kharkiv: NSC ISSAR, P. 90-97. (Ukr.). DOI: <https://doi.org/10.31073/acss89-10>.