

**ІНДИКАЦІЙНІ СТРЕСОВІ ІНДЕКСИ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ХАРАКТЕРУ  
ДЛЯ РІПАКУ ОЗИМОГО****Н. А. ПАСІЧНИК**, кандидат сільськогосподарських наук, доцент**В. П. ЛИСЕНКО**, доктор технічних наук, професор**А. В. БИКІН**, доктор сільськогосподарських наук, професор**О. О. ОПРИШКО**, кандидат технічних наук, доцент*Національний університет біоресурсів та природокористування України*

E-mail: N.Pasichnyk@nubip.edu.ua; ozon.kiev@gmail.com

<https://doi.org/10.31548/dopovid2020.03.007>

***Анотація.** Стреси технологічного характеру є актуальним викликом у вирощуванні озимих культур, зокрема ріпаку, у промисловому виробництві з використанням агрохімії та засобів захисту рослин. Ефективні реанімаційні заходи можливі лише на початкових етапах вегетації, а тому потребують достовірної й доступної інформації про стан посівів. Метою роботи стала розробка індексу за результатами аналізу цифрових знімків із високою розподільчою здатністю, отриманих із використанням БПЛА, для ідентифікації стресів технологічного характеру. У польових дослідженнях встановлено, що на вражених ділянках рослини мають аномальне забарвлення двох нижніх листків, а саме жовтого і червоного кольорів. Використання монохроматичних зображень кожного зі спектральних каналів виявилось недостатнім для виділення таких листків. Тому для ідентифікації вражених рослин було запропоновано використовувати образ об'єкту, заснований на співвідношенні кількох каналів одночасно, що дозволило розрізнити вражені та здорові рослини, ґрунт, рослинні залишки. За результатами досліджень вперше було запропоновано новий клас спеціальних індексів, здатних в оптичному діапазоні ідентифікувати технологічний характер стресу для ріпаку озимого. Встановлено, що індекс  $RLrg$ , заснований на використанні червоного та зеленого каналів, забезпечує вибірковість щодо ідентифікації листків із аномальним забарвленням, ґрунту та зелених листків рослин. Завдяки використанню червоного і зеленого каналів  $RLrg$  потенційно може бути адоптований для найбільш поширеного промислового мультиспектрального обладнання. Індекс  $RLrgb = 2R - G - B$ , за нижчої чутливості щодо ідентифікації червоних листків та ґрунту, здатний окремо ідентифікувати червоні та жовті листки, а також різницю між зеленими листками вражених і здорових листків ріпаку.*

***Ключові слова:** ріпак, технологічний стрес, живлення рослин, індикаційні індекси, БПЛА*

**Актуальність.** Технології точного землеробства, що стають звичними у сучасному рослинництві, потребують точної та оперативної

інформації про стан вегетації рослин. Технічні рішення щодо моніторингу були розроблені в минулому столітті для супутників. Вегетаційні індекси

Пасічник Н. А., Лисенко В. П., Бикін А. В., Опришко О. О.

створювалися на основі використання ґрунтової лінії і носили, здебільшого, індикативний характер щодо стану посівів [1, с. 4–14; 2, с. 754–757]. Для рослинників актуальним є не лише оцінка перспективи врожаю, а своєчасне встановлення причину стресу для прийняття рішення щодо технологічного втручання. Складність зазначеного обумовлена взаємодією факторів росту і розвитку рослин, описаною законом Мітчерліха-Тинемана-Бауле.

Згаданий закон стосувався сукупної дії природних факторів, проте може бути застосований до дій стресових чинників різного характеру. Здатність рослини протистояти стресовому фактору – імунітет – залежить, насамперед, від забезпечення її поживними речовинами і елементами, адже саме вони формують потенціал фізіологічних і біохімічних процесів. Це один із ключових моментів щодо ідентифікації характеру стресу, що особливо важливо для технологічних стресів, зокрема фітотоксичної дії гербіцидів і інших хімічних сполук.

Для наземних досліджень щодо ідентифікації характеру стресу ефективною є листова діагностика. Проте такі дослідження слабо масштабуються для значних виробничих площ. Можливість визначення на знімках високої розподільчої здатності ґрунту та частин рослин, отриманих із використанням безпілотних

літальних апаратів (далі БПЛА), дозволить адаптувати технології листової діагностики для масштабного використання за умов конкурентоспроможної вартості досліджень. Стандарти вегетаційні індекси, розроблені для супутникових технологій, не придатні для цих потреб. Для практичних рішень потрібні спеціальні стресові індекси, що нівелюватимуть суб'єктивність і дозволять з високою надійністю ідентифікувати проблемні посіви.

Тому, розробка індикативного індексу за результатами аналізу цифрових знімків із високою розподільчою здатністю, отриманих шляхом використання БПЛА для ідентифікації стресів технологічного характеру є актуальною задачею, що і склало мету нашої роботи.

**Стан питання.** На початкових етапах вегетації, коли площа куполу рослини є відносно малою, на знімку поряд із насадженнями фіксується ґрунт і інші об'єкти, зокрема рослинні рештки, опале листя тощо. Для ідентифікації рослин в оптичному діапазоні у роботах [3, с. 43–52] та [4, с. 105–114] було запропоновано спеціальні індекси  $E_{xG} = (2G - R - V) / (R + G + V)$  та  $MNVI = 2G - 2B - 2.4R$ . Особливістю таких індексів є те, що додатне значення індексу означає приналежність відповідного пікселя зображення рослині, а від'ємне – ґрунту. Оскільки спектральні параметри рослин індивідуальні для кожної культури та сорту, до того ж

Пасічник Н. А., Лисенко В. П., Бикін А. В., Опришко О. О.

колір вражених частин відрізняється від загального, для якісного визначення спектральної характеристики зображення використовують еталонні зразки. У роботі [5, с. 105-223] було визначено мінімально можливий та бажаний розміри еталону, що для оптичного діапазону складали 13×13 та 23×23 пікселів відповідно.

#### **Матеріал і методи досліджень.**

Полеві дослідження проводились 10.11.2019 у Бориспільському районі на виробничих посівах ріпаку озимого, гібрид ДК Імплемент КЛ (координати дослідного поля 50°16' N, 30°58'E). У межах дослідної ділянки поля попередниками були дві культури – пшениця озима і картопля рання. Різні технологічні карти і режими живлення попередників зумовили істотну різницю фону для ріпаку, сівба якого проводилась 16.08.2019 р.

Інтенсивний прояв стресу як в осінній період, так і за відновлення весняної вегетації, зафіксовано на частині поля після посівів пшениці. Фотозйомку здійснювали з використанням камери SM-J600F.

За даними метеостанції Бориспільського аеропорту, що знаходиться на відстані до 10 км від дослідних ділянок, температурні умови були сприятливими для культивування ріпаку. На полі проводили супутні наземні дослідження. Зокрема, щільність ґрунту оцінювали за допомогою цифрового пенетрометра DATAFIELD із GPS позиціонуванням. Було встановлено, що на обох ділянках наявне некритичне ущільнення шару ґрунту під ріллею.

Обробку результатів цифрової фотозйомки формату jpeg здійснювали в програмі MathCad [6, с. 244-250].

**Результати дослідження та їх обговорення.** Візуальним обстеженням дослідних ділянок було встановлено (рис. 1):

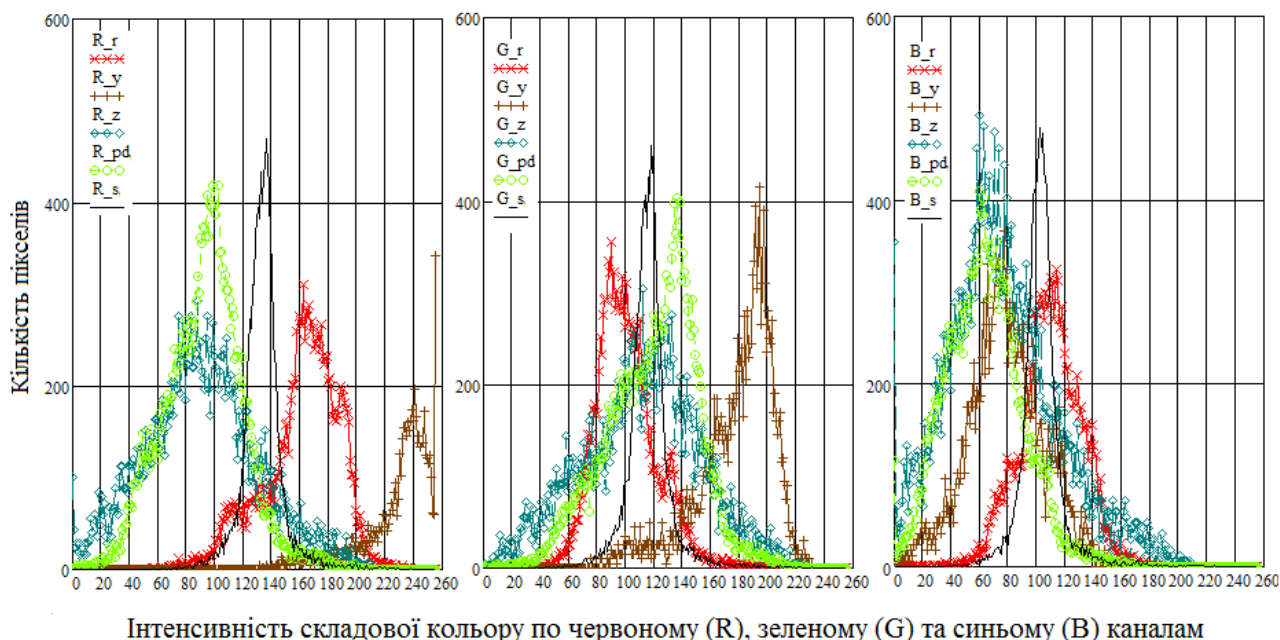
- різницю в габаритах між здоровими рослинами і враженими, зумовлену стресом технологічного характеру;
- забарвлення нижніх листків ріпаку в червоний і жовтий і проміжні кольори.



**Рис. 1.** Посіви ріпаку озимого (2019.11.10), де пунктирною лінією показано межу між ділянками: 1 - із ознаками стресу технологічного характеру, 2 - непошкоджені посіви

Найбільш перспективним для вибірковості щодо визначення стресів саме технологічного характеру є фіксація аномального забарвлення листків. Спектральному аналізу піддавали зразки листків червоного,

жовтого і перехідних кольорів, а також зелені верхні листки вражених і непошкоджених рослин. Окремо аналізували зразки ґрунту із рослинними рештками. Отримані результати наведені на рис. 2.

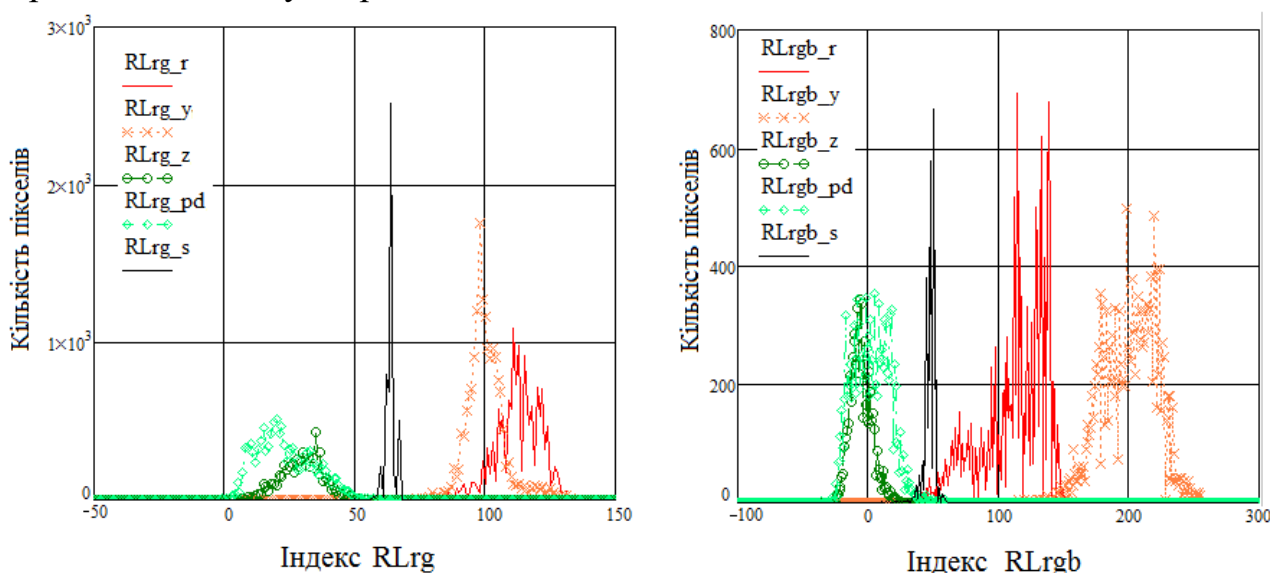


**Рис. 2.** Залежність для дослідних ділянок кількості пікселів від інтенсивності складової кольору: де r – червоний та y - жовтий листки, зелені листки від rd вражених та z непошкоджених рослин, s – рілля з рослинними рештками

Отримані результати засвідчать, що саме червоний канал в оптичному діапазоні найбільш придатний для ідентифікації аномального забарвлення листків ріпаку, що є індикатором стресу технологічного характеру. Так, для червоного каналу зелені листки відносились до діапазону 0-210, червоні 70-230, жовті 140-255, а ґрунт – до 90-180. Тобто, жовті листки можна досить точно ідентифікувати, оскільки в сумісному діапазоні 150-160 червоного каналу було зафіксовано до 4 % пікселів зелених листків і до 6 % жовтих. Визначення червоного листка за таким принципом виявилось невдалим через істотний збіг спектральних показників за умов використання монохромних зображень. Для найбільш придатного червоного каналу при значеннях

інтенсивності складової кольору на діапазон 100-140 припадає близько 30% і 8% пікселів зелених і червоних листків відповідно.

Для впевненої ідентифікації листків жовтого і червоного кольорів пропонується застосувати образ об'єкту, що враховує кілька спектральних каналів одночасно. Врахувавши найбільш розповсюджені спектральні канали оптичного діапазону наявного на ринку промислового мультиспектрального обладнання для моніторингу посівів (Slantrange та Parrot SEQUOIA), окремо розглядали комбінацію трьох RGB та двох RG каналів. На рис.3 наведено результати розподілу кількості пікселів для двох запропонованих індексів  $RL_{rgb} = 2R - G - B$  та  $RL_{rg} = R - G$ .



**Рис. 3. Залежність для дослідних ділянок кількості пікселів від величин індексів  $RL_{rg}$  та  $RL_{rgb}$ : де  $r$  – червоні листки,  $y$  - жовті листки, від  $pd$  - зелені листки вражених рослин,  $z$  - зелені листки непошкоджених рослин,  $s$  – ґрунт із рослинними рештками**

Серед запропонованих індексів краща чутливість щодо ідентифікації листків червоного та жовтого кольорів належить індексу  $RL_{rg}$ . Тобто значення індексу понад 75 свідчать про наявність стресів технологічного характеру. Індекс  $RL_{rgb}$  за дещо гіршої вибіркості щодо ідентифікації вражених листків та ґрунту дозволяє виокремити листки червоного та жовтого кольорів, що є перспективним для інтерпретації причин стресу. Окрім того, для ріпака озимого встановлено, що розподіл пікселів зелених листків у вражених і здорових рослинах розміщений в діапазоні 32 та 15 додатніх значень індексу  $RL_{rgb}$  відповідно. Оскільки для здорових та вражених рослин мінімальне значення індексів  $RL_{rgb}$  для зелених листків виявилось однаковим, цю особливість можна використовувати як додаткову для ідентифікації технологічного стресу ріпаку.

**Напрямок подальших досліджень.** В універсальних фотокамерах оптичного діапазону можливе накладання спектральних каналів, чого немає в

#### References

1. Lichtenthaler, Hartmut K. (1996) Vegetation Stress: an Introduction to the Stress Concept in Plants. *Journal of Plant Physiology*. Vol.148. №1-2. P. 4-14.
2. Main, Russell, Main, Russell; Cho, Moses Azong; Mathieu, Renaud; O’Kennedy, Martha M.; Ramoelo, Abel; Koch, Susan (2011) An investigation into robust spectral indices for leaf chlorophyll estimation. *ISPRS*

мультиспектральних промислових. Таким чином, створений індекс  $RL_{rgb}$  потрібно перевірити на ефективність для цього обладнання.

#### Висновки:

Вперше запропоновано новий клас спеціальних індикаційних індексів, здатних ідентифікувати стреси технологічного характеру для ріпаку озимого. Такі індекси зручні для проведення моніторингу та автоматизованої обробки даних. Встановлено, що індекс  $RL_{rg} = R - G$  забезпечує вибіркості щодо ідентифікації листків із аномальним червоним та жовтим забарвленням, ґрунту та зелених листків рослин. Оскільки при цьому використовується червоний та зелений канали,  $RL_{rg}$  потенційно може бути адоптований для найбільш поширеного промислового мультиспектрального обладнання. Індекс  $RL_{rgb} = 2R - G - B$ , за нижчої чутливості щодо ідентифікації червоних листків та ґрунту, здатний окремо ідентифікувати червоні та жовті листки, а також різницю між зеленими листками вражених і здорових листків ріпаку.

*Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. Vol. 66. P.751-761.

3. J. J.Torres-Sánchez, F.López-Granados, J.M.Peña (2015) An automatic object-based method for optimal thresholding in UAV images: Application for vegetation detection in herbaceous crops. *Computers and Electronics in Agriculture*, 114, 43–52, <https://doi.org/10.1016/j.compag.2015.03.019>.

4. Xiuliang Jin, Shouyang Liu, Frédéric Baret, Matthieu Hemerlé, Alexis

Пасічник Н. А., Лисенко В. П., Бикін А. В., Опришко О. О.

Comar (2017) Estimates of plant density of wheat crops at emergence from very low altitude UAV imagery Remote Sensing of Environment, 198, 105-114, <http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.007>.

5. Hengbiao Zheng, Xiang Zhou, Jiaoyang He, Xia Yao, Tao Cheng, Yan Zhu, Weixing Cao, Yongchao Tian (2020) Early season detection of rice plants using RGB, NIR-

G-B and multispectral images from unmanned aerial vehicle (UAV). Computers and Electronics in Agriculture, 169, 105223, <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105223>.

6. N.A. Pasichnyk, O.O. Opryshko, D.S. Komarchuk, V.O. Miroshnyk (2019) Experience in using mathcad to analyze data from UAVS for remote sensing of crops. Roslynnystvo ta gruntoznavstvo 286. 244-250.

## INDICATION STRESS INDICES OF TECHNOLOGICAL NATURE FOR WINTER RAPES

N. A. Pasichnyk, V. P. lysenko, A. V. Bykin, O. O. Opryshko

**Abstract.** According to the results of research, for the first time a new class of specialized indices for UAVs has been proposed, which are able to identify the technological nature of stress for winter rape in the optical range. It was found that the RLrg index, based on the use of red and green channels, provides selectivity for the identification of leaves with abnormal color, soil and green leaves of plants. Due to the use of red and green channels, RLrg can potentially be adapted for the most common industrial multispectral equipment. The index  $RLrgb = 2R - G - B$ , with a lower sensitivity to the identification of red leaves and soil, is able to separately identify red and yellow leaves, as well as the difference between the green leaves of affected and healthy rapeseed leaves.

The aim of the work was to develop an index based on the results of analysis of digital images with high resolution, obtained using UAVs, to identify technological stresses. In field studies, it was found that the affected areas of the plant have an abnormal color of the two lower leaves, namely yellow and red. The use of monochromatic images of each of the spectral channels was insufficient to isolate such leaves. Therefore, to identify the affected plants, it was proposed to use the image of the object, based on the ratio of several channels simultaneously, which allowed to distinguish between affected and healthy plants, soil, plant remains.

**Key words:** rapeseed, technological stress, plant nutrition, indication indices, UAV