

ВИКОРИСТАННЯ БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ ДЛЯ ОЦІНКИ ТЕХНОЛОГІЧНИХ СТРЕСОВИХ СТАНІВ ПШЕНИЦІ ОЗИМОЇ

Н.А. Пасічник

*кандидат сільськогосподарських наук, доцент
Національний університет біоресурсів і природокористування України
(Україна, м. Київ; e-mail: n.pasichnyk@nubip.edu.ua)*

В.П. Лисенко

*доктор технічних наук, професор
Національний університет біоресурсів і природокористування України
(Україна, м. Київ; e-mail: lysenko@nubip.edu.ua)*

О.О. Опришко

*кандидат технічних наук, доцент
Національний університет біоресурсів і природокористування України
(Україна, м. Київ; e-mail: ozon.kiev@nubip.edu.ua)*

Статтю присвячено прикладним аспектам використання безпілотних літальних апаратів (БПЛА), а саме — моніторингу посівів озимої пшениці стосовно стресів, зумовлених післядією гербіцидів. Під післядією гербіцидів розуміють вплив решток гербіцидів, що залишилися від культури попередника і які викликають стресовий стан у нових посівів. Питання має місцеву специфіку, пов'язану як з невідповідністю технологій вирощування рослин, так і з недостатнім вивченням впливу новітніх засобів захисту рослин у вітчизняних ґрунтових умовах. Відновлення врожайності посівів можливо за своєчасної ідентифікації причин стресу, проте термін прийняття рішень є обмеженим, що потребує впровадження новітніх технологій моніторингу, придатних для промислових масштабів. Метою досліджень є вдосконалення методики оперативного моніторингу з допомогою БПЛА виробничих посівів озимих культур на прикладі пшениці стосовно впливу післядії гербіцидів. Досліди проводили в лабораторних умовах та на виробничих полях для пшениці сорту Милан. За лабораторних досліджень з використанням фітокамер не вдалось встановити для спектральних чи спектрально-просторових методів моніторингу чітких критеріїв, які однозначно свідчили б про стрес, зумовлений саме післядією гербіцидів. За польових досліджень аналізували розподіл стресових ділянок на полі. Досліди проводили у 2018 р. на виробничих полях у Київській області. Показано, що карти стресових індексів, отримані на базі даних із високою розподільчою здатністю від БПЛА, можна розглядати як окремий об'єкт досліджень стосовно інтерпретації причин стресів складних біотехнічних об'єктів, таких як посіви зернових культур. Встановлено, що підвищення вірогідності та достовірності даних моніторингу можна досягти за впровадження систем машинної обробки даних та комп'ютерного навчання стосовно пошуку кореляційних зв'язків між розподілом стресових станів рослин у полі та виконанням технологічних операцій, рельєфу місцевості тощо.

Ключові слова: моніторинг, безпілотних літальних апаратів, післядія гербіцидів, пшениця озима.

Постановка проблеми. Безпілотні літальні апарати є інноваційним інструментарієм для аграрної галузі, оскільки здатні надавати сільгоспвиробникам принципово новітні можливості для керування врожаєм. Незважаючи на високу вартість виробів та їх обслуговування, за результатами, представленими в [1], автоматизований спектральний моніторинг посівів з БПЛА є економічно привабливішим за аналогічне знаряддя на наземних платформах. У ряді ситуацій БПЛА є незамінними, оскільки сучасні практики рослинництва потребують оперативного моніторингу посівів, що пов'яза-

но із використанням засобів захисту рослин. При цьому величезну небезпеку становлять як фальсифіковані продукти, так і новітні суміші реагентів, стандартні оцінки впливу яких на майбутні врожаї, за результатами дослідів [2], є недосконалими. Особливу небезпеку за використанні гербіцидів широкої дії становить їх дрейф на інші посіви під впливом різних чинників та післядія гербіцидів [3]. Найсильніше післядія гербіцидів впливає на озимі культури, оскільки рештки отрутохімікатів для попередньої культури ще не встигли розкластися, як було показано на прикладі пшениці [4]. Для

відновлення метаболізму вражених рослин використовують спеціальні бакові суміші — сейфери, ефективність яких за даними, наведеними [5] максимальна на початкових стадіях вегетації рослин. Дистанційний моніторинг, заснований на спектральних показниках насаджень ускладнюється тим, що стресові стани можуть бути зумовлені різними чинниками: дефіцитом елементів живлення, невідповідною температурою чи вологозабезпеченням, а також хімічним отруєнням гербіцидами тощо.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Вибір спектрального сенсорного обладнання для БПЛА. Інвестиційна привабливість на пряму прецизійного землеробства призвела до появи на ринку великої кількості спектрального сенсорного обладнання для моніторингу від різних виробників. Деякі зразки спеціалізованого сенсорного обладнання, такі як MAPIR Survey, [6] та Sentera [7] було побудовано на основі неспеціалізованих цифрових камер, які використовували для листової діагностики. Для калібрування таких камер щодо змін освітлення застосовували штучні наземні оптичні шаблони чи методики, засновані на вимірах штатного експонетра камери [8, 9]. Більш зручними з огляду на швидкість обробки даних при створенні ортофотопланів є спеціалізовані зенітні сенсори, якими оснащено-спектральні системи Parrot SEQUOIA та Slantrange [7, 10]. При цьому система Slantrange на відміну від аналогів взагалі не потребує використання калібрувальних панелей і здатна обробляти дані впродовж польоту, завдяки чому забезпечується оперативність отримання готових карт стресових індексів без залучення хмарних сервісів. На початкових стадіях вегетації, коли можливо ефективно застосування сейферів, при спектральному моніторингу буде фіксуватись багато ділянок, зумовлених саме ґрунтом, що необхідно враховувати при розрахунках стресових індексів. Система Slantrange надає користувачу готові карти стресових індексів, проте на відміну від представлених аналогів передбачає можливість фільтрації даних за вибором користувача, тому її було використано для досліджень.

Вибір параметрів діагностики посівів пшениці озимої.

При дистанційному моніторингу рослинних насаджень використовують кілька окремих підходів та їх комбінацій:

- вегетаційні індекси, засновані на суто спектральних показниках у технологіях керування врожаєм озимої пшениці, найчастіше використовуються для визначення стану азотного живлення [11, 12]. Відмінність в індексах полягає передусім в виборі спектральних діапазонів

та математичних рівняннях які вибирають під потреби досліду;

- стресові індекси, що враховують габарити рослин. У роботі [13] біомасу розраховували на основі спектральних індексів від БПЛА при введених емпіричних коефіцієнтів, що незручно з урахуванням кількості сортів рослин та відмінностей у кольорі ґрунту. Вимірювання габаритів рослин з допомогою БПЛА на початкових стадіях вегетації здійснюють при попіксельному аналізі знімків, коли визначається відсоток пікселів зображення, що відповідають саме рослинам [14];

- спектрально-просторовий моніторинг. Просторовий аналіз характеру розповсюдження стресових ділянок зазвичай використовують для визначення насаджень, уражених грибковими захворюваннями [15]. При цьому як об'єкт досліджень розглядали ділянки поля.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. Отже, для ідентифікації причин характеру стресу посівів озимої пшениці на початкових етапах вегетації можливо використати як спектральні показники, попіксельний аналіз габаритів рослин та оцінювати характер розподілу стресових ділянок по полю. Проте питання щодо ідентифікації післядії гербіцидів при дистанційному зондуванні вивчено недостатньо.

Метою досліджень є вдосконалення методики оперативного моніторингу за допомогою БПЛА виробничих посівів озимих культур на прикладі пшениці стосовно впливу післядії гербіцидів.

Матеріали, методи та отримані результати. Для експериментальних досліджень щодо спектральних показників та габаритів рослин можливо використовувати фітокамери та стаціонарні польові дослідження, а вивчення розподілу стресових ділянок по полю за прийнятної точності вимірів можливе тільки на виробничих полях.

Викладення основного матеріалу. *Вегетаційний дослід у лабораторних умовах фітокамери.* Для здійснення дослід у фітокімнаті ґрунт було набрано на виробничому полі, де для попередньої культури (картопля) було штучно створено ділянки із нормованою та подвоєною дозою гербіциду. Ґрунт набирали на ділянках, визначених за візуальними орієнтирами на місцевості на відстані не менш ніж 50 м. від країв поля та межі різного дозування внесених гербіцидів. Було вилучено шар ґрунту глибиною до 15 см. Взяття проб ґрунту було здійснено наприкінці вересня 2018 р. напередодні висіву озимої пшениці. Зразки насіння пшениці (сорт Mulan), надані господарством, було вилучено

з партії насіннєвого матеріалу, які насправді використано для посівів 2018–2019 р.

Виміри габаритів насаджень здійснювали безпосередньо в посуді без руйнування рослини за допомогою лінійки, при цьому фіксували максимальну відстань від ґрунту до верхньої точки рослини (рис. 1).

Спектральні дослідження проводили за методикою описаною в [19], з залученням оптичного шаблону для врахування різниці в освітленні. Отримані результати представлено у табл. 1.

Як видно з представлених спектральних, даних найбільша різниця з інтенсивності складових кольору простежується за червоним та зеленим каналам. Довжина листя у зразків, уражена від післядії гербіцидів, була меншою майже удвічі. Проте такі зовнішні прояви можуть бути наслідком і інших причин, зокрема дефіцитів елементів живлення. Таким чином, виходячи з експериментальних даних, за суто спектральними чи спектрально-габаритними підходами в дистанційному зондуванні не можна достовірно визначити, що стресовий стан озимої пшениці зумовлений саме післядією гербіцидів.

Дослідження в польових умовах. Польові дослідження проводили на виробничих полях, розташованих у селищі Городище Бориспільського району Київської області (координати 50°16'N, 30°58'E). Метеорологічні умови для озимої пшениці для сезону 2018–2019 р. були стандартними для цього регіону.

При наземних дослідженнях було зафіксовано, що на ділянках із післядією гербіциду габарити рослин у середньому вдвічі менші, ніж на посівах, де було внесено нормовану дозу гербіциду в культурі попередника. За візуального обстеження не виявлено істотної різниці у забарвленні рослин, тобто результати збіглися з даними, отриманими за використання фітокімнати.



Рис. 1. Дослідні зразки пшениці озимої із післядією гербіциду (зліва) та без дії гербіциду (зправа). Культура попередник — картопля. Дата зйомки 19.04.19 р.

Для спектрального моніторингу полів було використано систему Slantrane 3p, яку змонтовано на базі БПЛА DJI Matrice 200. Урахування змін освітлення для комплексу Slantrange здійснювали за вбудованими алгоритмами розробника обладнання із використанням штатного зенітного сенсору. Обробка даних і побудова карт стресових індексів відбувалась завдяки програмному забезпеченню SlantView ver. 2.9.0.1086 від розробника системи Slantrange.

Інтерфейс програми SlantView безпосередньо у вікні із картою розподілу стресових індексів надає числове значення індексу для тієї ділянки, де знаходиться курсор. Стресові індекси мають різну шкалу, і для вибору карти для подальшого машинного аналізу було оцінено на скільки відсотків від загальної шкали індексу в середньому відрізняються ділянки, уражені від післядії гербіцидів від неураже-

Таблиця 1

Спектральні та габаритні параметри дослідних зразків пшениці

Зразок	Afterside +							Afterside -								
	Пшениця			Шаблон				h	Пшениця			Шаблон				h
	R	G	B	R	G	B	R		G	B	R	G	B			
1	48	82	32	192	194	193	20	36	48	30	191	191	198	42		
2	65	83	54	194	196	208	22	50	57	31	182	183	192	44		
3	69	94	28	195	196	196	24	45	55	38	183	183	192	46		
4	62	75	36	187	188	200	23	48	63	35	189	188	200	42		
5	54	67	40	188	190	202	26	52	60	29	186	189	188	50		

них посівів. Отримані результати наведено у табл. 2.

Як видно з представлених даних, найбільшу різницю було зафіксовано для стресового індексу компанії Sланtrange «Stress», проте рівняння цього індексу компанією не надається і відповідно його не можна обчислити на базі результатів від інших постачальників обладнання. Виходячи з перспективної можливості порівняння результатів від БПЛА та даних супутникового моніторингу для подальшого комп'ютерного аналізу було обрано стандартний індекс «Red edge NDVI».

Для аналізу розподілу стресових ділянок на полі отримані карти було збережено у файлах зображень із розширенням png. Оскільки внесення гербіцидів здійснювалось машинним способом, зроблено припущення, що розпо-

діл стресових ділянок, зумовлених післядією гербіцидів, має корелювати із технологічними шляхами пересування обладнання для його внесення. В умовах відсутності перешкод пересування обладнання має лінійний характер, тому при аналізі зображень орієнтувались на пошук саме лінійних функцій.

Обробка результатів моніторингу. Для аналізу використовували вейвлет-аналіз, який було здійснено за допомогою розширення Wavelet Toolbox у пакеті Matlab версія 7.0.1. Завдання розпізнавання зображень полягало у порівнянні коефіцієнтів, одержаних за результатом вейвлет-розкладу тестового зображення, з коефіцієнтами, отриманими за розкладу декількох еталонних зображень. Приклад реалізації представлено на рис. 2, де зеленими лініями визначено границю між стресовими

Таблиця 2

Значення стресових індексів для озимої пшениці залежно від післядії гербіцидів

Index	Aftereffect +			Aftereffect -			Difference, %
	min	max	average	min	max	average	
RedNDVI	0,65	0,69	0,67	0,78	0,82	0,8	13
GreenNDVI	0,75	0,8	0,775	0,89	0,92	0,905	13
Red edge NDVI	0,5	0,55	0,525	0,65	0,7	0,675	15
Stress	0,23	0,26	0,245	0,14	0,16	0,15	19
Veg. fraction	0,94	1	0,97	0,94	1	0,97	0
Yield potential	0,72	0,76	0,74	0,82	0,86	0,84	10

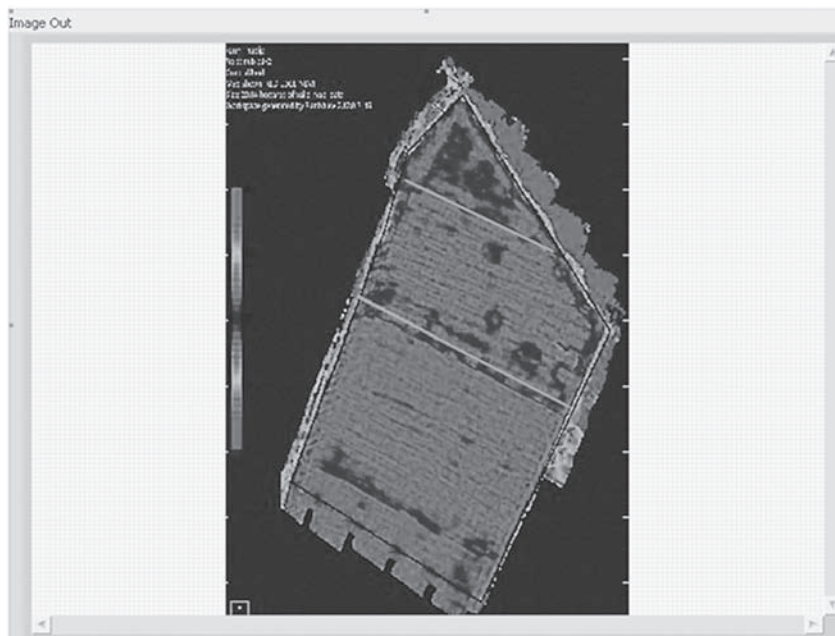


Рис. 2. Визначення межі неоднорідного розподілу стресових ділянок на полі

ділянками, які співпали із межами внесення підвищеної кількості гербіцидів для культури попередника.

На картах різних версій NDVI та Stress зафіксовано, що на ділянках, де було внесено для попередньої культури надмірну кількість гербіцидів, наявні овальні ділянки із невраженими рослинами. Пояснення цього полягає у наявності западин де утворилась підвищена вологість ґрунту, що призвело до вимивання решток гербіцидів. Отже, доцільно поряд із картами розподілу стресових індексів досліджувати і рельєф місцевості, а також враховувати ці дані в технологіях «big data», де дані від БПЛА можуть доповнюватись даними від супутників та наземного сенсорного обладнання.

Висновки:

- при суто спектральному та спектрально-просторовому моніторингу озимої пшениці

не вдалось достовірно ідентифікувати стресовий характер, зумовлений саме післядією гербіцидів, тобто наземні платформи для спектрального сенсорного обладнання є неефективними;

- карти стресових індексів, отримані на базі даних із високою розподільчою здатністю від БПЛА, можна розглядати як окремий об'єкт досліджень стосовно інтерпретації причин стресів складних біотехнічних об'єктів таких як посіви зернових культур;

- підвищення вірогідності та достовірності даних моніторингу можна досягти за впровадження систем машинної обробки даних і комп'ютерного навчання щодо пошуку кореляційних зв'язків між розподілом стресових станів рослин у полі та виконанням технологічних операцій, рельєфу місцевості тощо.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Andújar D., Moreno H., Bengochea-Guevara J.M. et al. (2019). Aerial imagery or on-ground detection? An economic analysis for vineyard crops. *Computers and Electronics in Agriculture*. 157: 351–358.
2. Machado S.C., Martins I. (2018). Risk assessment of occupational pesticide exposure: Use of endpoints and surrogates. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*. 98: 276–283.
3. Yao H., Huang Y., Hruskaa Z. et al. (2012). Using vegetation index and modified derivative for early detection of soybean plant injury from glyphosate. *Computers and Electronics in Agriculture*. 89:145–157.
4. Jursík M., Kolářová M., Soukup J. (2019). Competition, reproduction ability, and control possibilities of conventional and Clearfield volunteer oilseed rape in winter wheat. *Crop Protection*. 122: 30–34.
5. Zimdahl R.L. (2018). Chapter 16 Properties and Uses of Herbicides. *Fundamentals of Weed Science* (Fifth Edition): 463–499.
6. Green D.R., Hagon J.J., Gómez C., Gregory B.J. (2019). Chapter 21. Using Low-Cost UAVs for Environmental Monitoring, Mapping, and Modelling: Examples From the Coastal Zone. *Coastal Management Global Challenges and Innovations*: 465–501.
7. Deng L., Mao Z., Li X., Hu Z., Duan F. et al. (2018) UAV-based multispectral remote sensing for precision agriculture: A comparison between different cameras. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. 146:124–136.
8. Lysenko V., Komarchuk D., Opryshko O. et al. (2017). Determination of the not uniformity of illumination in process monitoring of wheat crops by UAVs. 4th International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications. *Science and Technology (PIC S&T)*: 265–267.
9. Korobiichuk I., Lysenko V., Opryshko O., Komarchyk D. et al. (2018). Crop monitoring for nitrogen nutrition level by digital camera Automation 2018. *Advances in Intelligent Systems and Computing*. Springer, Cham: 595–603.
10. Enciso J., Avila C., Jung J., Elsayed-Farag S., Chang A. et al. (2019). Validation of agronomic UAV and field measurements for tomato varieties. *Computers and Electronics in Agriculture*. 158: 278–283.
11. Duan T., Chapman S.C., Guo Y., Zheng B. (2017). Dynamic monitoring of NDVI in wheat agronomy and breeding trials using an unmanned aerial vehicle. *Field Crops Research*. 210: 71–80.
12. Lysenko V., Opryshko O., Komarchuk D., Pasichnyk N. (2017). Usage of Flying Robots for Monitoring Nitrogen in Wheat Crops. *The 9th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications 21–23 September*. Bucharest Romania. 1: 30–34.
13. Yue J., Yang G., Tian Q., Feng H. et al. (2019). Estimate of winter-wheat above-ground biomass based on UAV ultrahigh-ground-resolution image textures and vegetation indices. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. 150: 226–244.
14. Lysenko V., Opryshko O., Komarchuk D. et al. (2018). Information Support Of The Remote Nitrogen Monitoring System In Agricultural Crops. *International Journal of Computing*. 17(1): 47–54.
15. Calderón R., Navas-Cortés J.A., Lucena C., Zarco-Tejada P.J. (2013). High-resolution airborne hyperspectral and thermal imagery for early detection of Verticilliumwilt of olive using fluorescence, temperature and narrow-band spectral indices. *Remote Sensing of Environment*. 139: 231–245.

Інформація про авторів

Пасічник Наталія Анатоліївна — кандидат сільськогосподарських наук, доцент, Національний університет біоресурсів і природокористування України (вул. Героїв Оборони, 15, м. Київ, 03041, Україна; e-mail: n.pasichnyk@nubip.edu.ua).

Лисенко Віталій Пилипович — доктор технічних наук, професор, Національний університет біоресурсів і природокористування України (вул. Героїв Оборони, 15, м. Київ, 03041, Україна; e-mail: lysenko@nubip.edu.ua).

Опришко Олексій Олександрович — кандидат технічних наук, доцент, Національний університет біоресурсів і природокористування України (вул. Героїв Оборони, 15, м. Київ, 03041, Україна; e-mail: ozon.kiev@nubip.edu.ua).

N.A. Pasichnyk
PhD, Associate Professor
National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine
(Ukraine, Kyiv, e-mail: n.pasichnyk@nubip.edu.ua)
V.P. Lysenko
PhD, Professor
National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine
(Ukraine, Kyiv, e-mail: lysenko@nubip.edu.ua)
O.A. Opryshko
PhD, Associate Professor
National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine
(Ukraine, Kyiv, e-mail: ozon.kiev@nubip.edu.ua)

THE USE OF UNMANNED AERIAL VEHICLES TO EVALUATE THE TECHNOLOGICAL STRESS OF WHEAT WINTER

The article deals with the applied aspects of the use of UAVs, namely the monitoring of winter wheat crops in relation to the stresses caused by the herbicide effects. The effects of herbicides are understood to mean the effects of herbicide residues left over from the precursor culture that cause a stressful condition in new crops. The issue has local specificity related to the inconsistency of plant cultivation technologies and the lack of study of the effects of the latest plant protection products in domestic soil conditions. Restoration of crop yields is possible with timely identification of causes of stress, but decision-making time is limited, requiring the introduction of up-to-date industrial monitoring technologies. The purpose of the research is to improve the methodology of operational monitoring using UAVs of winter crops for example wheat in relation to the effects of herbicide aftereffects. The experiments were carried out under laboratory conditions and in production fields for Mulan wheat. In laboratory studies using phytocameras it was not possible to establish for spectral or spectral spatial methods clear criteria that clearly indicated the stress caused by the herbicide effect. Field studies using the Slantrange UAV DJI Matrice 200 as an object of study analyzed the distribution of stress areas in the field. The experiments were conducted in 2018 at production fields in the Kiev region. It has been shown that maps of stress indices obtained from a high-resolution UAV database can be considered as a separate research object for the interpretation of stress causes of complex biotechnical objects such as crops. It has been established that monitoring and reliability of monitoring data can be achieved through the implementation of data processing and computer training systems to find correlation between the stress distribution of plants in the field and the execution of technological operations, terrain, etc.

Keywords: *monitoring, unmanned aerial vehicles, herbicide aftereffect, wheat winter.*

REFERENCES

1. Andújar, D., Moreno, H., Bengochea-Guevara, J.M. et al. (2019). Aerial imagery or on-ground detection? An economic analysis for vineyard crops. *Computers and Electronics in Agriculture*. 157: 351–358.
2. Machado, S.C., Martins, I. (2018). Risk assessment of occupational pesticide exposure: Use of endpoints and surrogates. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*. 98: 276–283.
3. Yao H., Huang Y., Hruskaa Z. et al. (2012). Using vegetation index and modified derivative for early detection of soybean plant injury from glyphosate. *Computers and Electronics in Agriculture*. 89:145–157.
4. Jursik, M., Kolářová, M., Soukup, J. (2019). Competition, reproduction ability, and control possibilities of conventional and Clearfield volunteer oilseed rape in winter wheat. *Crop Protection*. 122: 30–34.

5. Zimdahl R.L. (2018). Chapter 16 Properties and Uses of Herbicides. *Fundamentals of Weed Science* (Fifth Edition): 463–499.
6. Green, D.R., Hagon, J.J., Gómez, C., Gregory, B.J. (2019). Chapter 21. Using Low-Cost UAVs for Environmental Monitoring, Mapping, and Modelling: Examples From the Coastal Zone. *Coastal Management Global Challenges and Innovations*: 465–501.
7. Deng, L., Mao, Z., Li, X., Hu, Z., Duan, F. et al. (2018) UAV-based multispectral remote sensing for precision agriculture: A comparison between different cameras. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. 146:124–136.
8. Lysenko, V., Komarchuk D., Opryshko O. et al. (2017). Determination of the not uniformity of illumination in process monitoring of wheat crops by UAVs. 4th International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications. *Science and Technology (PIC S&T)*: 265–267.
9. Korobiichuk, I., Lysenko, V., Opryshko, O., Komarchuk, D. et al. (2018). Crop monitoring for nitrogen nutrition level by digital camera Automation 2018. *Advances in Intelligent Systems and Computing*. Springer, Cham: 595–603.
10. Enciso, J., Avila, C., Jung, J., Elsayed-Farag, S., Chang A. et al. (2019). Validation of agronomic UAV and field measurements for tomato varieties. *Computers and Electronics in Agriculture*. 158: 278–283.
11. Duan, T., Chapman, S.C., Guo, Y., Zheng, B. (2017). Dynamic monitoring of NDVI in wheat agronomy and breeding trials using an unmanned aerial vehicle. *Field Crops Research*. 210: 71–80.
12. Lysenko, V., Opryshko, O., Komarchuk, D., Pasichnyk, N. (2017). Usage of Flying Robots for Monitoring Nitrogen in Wheat Crops. *The 9th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications 21–23 September*. Bucharest Romania. 1: 30–34.
13. Yue, J., Yang, G., Tian, Q., Feng, H. et al. (2019). Estimate of winter-wheat above-ground biomass based on UAV ultrahigh-ground-resolution image textures and vegetation indices. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. 150: 226–244.
14. Lysenko, V., Opryshko, O., Komarchuk, D. et al. (2018). Information Support Of The Remote Nitrogen Monitoring System In Agricultural Crops. *International Journal of Computing*. 17(1): 47–54.
15. Calderón, R., Navas-Cortés, J.A., Lucena, C., Zarco-Tejada P.J. (2013). High-resolution airborne hyperspectral and thermal imagery for early detection of Verticilliumwilt of olive using fluorescence, temperature and narrow-band spectral indices. *Remote Sensing of Environment*. 139: 231–245.

Authors

Pasichnyk Natalia Anatolievna — PhD, Associate Professor, National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine (15, Heroyiv Oborony st., Kyiv, 03041, Ukraine; e-mail: n.pasichnyk@nubip.edu.ua).

Lysenko Vitaliy Pilypovich — PhD, Professor, National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine (15, Heroyiv Oborony st., Kyiv, 03041, Ukraine; e-mail: lysenko@nubip.edu.ua).

Opryshko Oleksiy Aleksandrovich — PhD, Associate Professor, National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine (15, Heroyiv Oborony st., Kyiv, 03041, Ukraine; e-mail: ozon.kiev@nubip.edu.ua).