

УДК 632.21:528.8

А. Б. АЧАСОВ¹, д-р с.-г. наук, доц., **А. О. СЕДОВ**², **А. О. АЧАСОВА**³ канд. біол. наук, доц.
¹Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна
майдан Свободи, 6, 61062, м. Харків, Україна
²Харківський національний аграрний університет імені В.В. Докучаєва
п/в "Докучаєвське - 2", 62483, Харківський район, Харківська область
³Національний науковий центр «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О. Н. Соколовського»
вул. Чайковського, 4, 61024, м. Харків, Україна
e-mail: achasov.ab@gmail.com

МЕТОДИЧНІ ОСНОВИ ВИКОРИСТАННЯ БПЛА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ЗАБУР'ЯНЕНОСТІ ПОСІВІВ

Мета. Опрацювання методичних підходів до використання квадрокоптерів та вільного програмного забезпечення для оцінки забур'яненості посівів. **Методи.** Зйомка здійснювалась за допомогою коптерів DJI Phantom Vision 2+ та LadyBug у видимому та ближньому інфрачервоному діапазонах з висот від 10 до 60 м. Дешифрування знімків проводилось за методом контрольованої класифікації в програмах QGIS та TNTmips. Облік бур'янів виконувався на контрольних ділянках 1м² ваговим методом з урахуванням якісного їх складу. **Результати.** Показано, що найкращі результати розпізнавання бур'янів при дешифруванні знімків дозволяє отримати використання контрольованої класифікації за методом максимальної правдоподібності за умов проведення зйомки з висот до 40 м. На стадії бутонізації соняшника близько 30% бур'янів закрито від дистанційного спостереження листям соняшника, що призводило до автоматичної недооцінки забур'яненості. **Висновки.** Для оцінки забур'яненості посівів можна використовувати дані зйомки з БПЛА у видимому діапазоні електромагнітних хвиль за умов зйомки з малих висот (до 40 м) та застосування методу контрольованої класифікації при дешифруванні знімків. Необхідно додатково застосовувати наземний контроль забур'яненості для оцінки частки «прихованих» від дистанційного спостереження бур'янів.

Ключові слова: БПЛА, дрон, QGIS, моніторинг посівів, бур'яни, соняшник, дешифрування знімків, контрольована класифікація

Achasov¹ A. B., Sedov² A. O., Achasova³ A. O.

¹V. N. Karazin Kharkiv National University

²V. V. Dokuchaev Kharkiv National Agrarian University

³National Scientific Center «Institute for soil science and agrochemistry research named after A.N. Sokolovsky»

METHODOLOGICAL BASIS OF THE UAVS USE FOR THE WEED DETECTION

Purpose. To work out methodological approaches to the use of quadcopters for weeds assesment. **Methods.** The shooting was carried out using DJI Phantom Vision 2+ and LadyBug Copper Dot. The LadyBug was shoted in the visible and near-infrared range using the 12-megapixel S100 NDVI UAV-Kit camera with elevations: 20 m, 40 m and 60 m. The DJI Phantom Vision 2+ was shot in the visible range of the GoPro 14 megapixel camera altitudes: 10 m, 15 m, 30 m and 60 m. Decryption of photographs was carried out using the controlled classification method in QGIS and TNTmips programs. Weed accounting was performed on control sites 1m² by weight method, taking into account their qualitative composition. **Results.** It is shown that the best results of weed recognition during decoding of images was obtained by the use of controlled classification according to the maximum likelihood method under conditions of shooting from heights up to 40 m. In order to improve the recognition of weeds and separate their image from images of cultivated plants, it is expedient to use the object-oriented analysis. At the stage of sunflower budding, about 30% of the weeds are closed from the remote observation, which led to an automatic underestimation of number of weeds. **Conclusions.** In order to evaluate the crop contamination, it is possible to successfully use the data from UAVs in a visible range of electromagnetic waves under low altitudes (up to 40 meters) and the use of a controlled classification method for decoding images. For the recognition of weeds, the images in the infrared range do not have advantages over images in the visible range. It is necessary to additionally apply ground-based control of weeds to assess the proportion of "hidden" from remote observation of weeds.

Keywords: UAV, drone, crop monitoring, weed, sunflower, decryption of images, controlled classification

Ачасов А. Б., Седов А. О., Ачасова А. О.

¹Харьковский национальный университет имени В.Н. Каразина

²Харьковский национальный аграрный университет имени В. В. Докучаева

³Национальный научный центр «Институт почвоведения и агрохимии имени А. Н. Соколовского»

МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БПЛА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ЗАСОРЕННОСТИ ПОСЕВОВ

Цель. Разработка методических подходов к использованию квадрокоптеров и свободного программного

обеспечения для оценки засоренности посевов. **Методы.** Съемка осуществлялась с помощью коптеров DJI Phantom Vision 2+ и LadyBug в видимом и ближнем инфракрасном диапазоне с высот от 10 до 60 м. Дешифрирование снимков проводилось по методу контролируемой классификации в программах QGIS и TNTmips. Учет сорняков выполнялся на контрольных участках 1м² весовым методом с учетом их качественного состава. **Результаты.** Показано, что для оценки засоренности посевов лучшие результаты позволяет получить использование контролируемой классификации по методу максимального правдоподобия для дешифрирования снимков, получаемых при съемке с высот не более 40 м. На стадии бутонизации около 30% сорняков было закрыто от дистанционного наблюдения листьями подсолнечника, что приводило к автоматической недооценке засоренности посевов. **Выводы.** Для оценки засоренности посевов можно успешно использовать данные съемки с БПЛА в видимом диапазоне при условии съемки с малых высот (до 40 м) и применения метода контролируемой классификации для дешифрирования снимков. Необходим дополнительный наземный контроль засоренности для оценки доли сорняков, скрытых от дистанционного наблюдения листьями культурных растений.

Ключевые слова: БПЛА, QGIS, мониторинг посевов, сорняки, подсолнечник, дешифрирование снимков, контролируемая классификация

Вступ

Масштабна геоінформатизація суспільства, яка почалась в 90-х роках і продовжується донині, в повній мірі «захопила» й сільське господарство. Земельні ресурси більше за всі інші вимагають наявності динамічно поновлювальної просторової інформації для забезпечення їх раціонального використання. Серед широкого кола сучасних геоінформаційних технологій для агробізнесу одними з найцікавіших є дистанційний моніторинг посівів, а серед його численних технологічних варіантів – космічна зйомка та зйомка за допомогою безпілотних літальних апаратів (БПЛА) у оптичному діапазоні електромагнітних хвиль. Кожен з цих варіантів має свої переваги та недоліки, аналіз та порівняння яких вимагатиме окремої наукової публікації.

В роботі ми розглядаємо деякі аспекти БПЛА-зйомки сільськогосподарських культур, а саме – можливості кількісної оцінки забур'яненості посівів.

Незважаючи на той факт, що питання використання БПЛА для моніторингу рослинного покриву висвітлений у численних публікаціях [1, 2, 3, 4], зауважимо, що багато аспектів цього питання потребують подальшого вивчення. Зокрема це стосується методичних підходів до процедури БПЛА-моніторингу забур'яненості посівів. Постійне розширення технічного парку БПЛА, застосування нових, все більш досконалих сенсорів, а також різноманітність сільськогосподарських культур та умов їх вирощування вимагає подальшого відпрацювання теоретичних та практичних аспектів БПЛА-зйомки [5].

Переваги застосування БПЛА для оцінки кількості бур'янів на полі полягають у оперативності отримання інформації, її від-

носно низької вартості та можливості суцільного обстеження поля замість його окремих частин [5, 6]. Висока роздільна здатність знімків та можливість здійснення зйомки за потребою споживача робить безпілотники лідером серед дистанційних методів оцінки забур'яненості полів.

Як показує досвід, застосування БПЛА-контролю дозволяє значно знизити обсяги використання гербіцидів. Зменшення витрат гербіцидів проти найбільш поширених бур'янів сягає до 60%, а для гербіцидів проти злакових бур'янів навіть до 90% [7, 8]. Такий ефект досягається завдяки не суцільній обробці полів, а дозованому застосуванню гербіцидів лише в зонах виявленого поширення бур'янів та у концентраціях, підібраних згідно регламентів застосування гербіцидів відповідно до виявленого ступеня забур'яненості ділянки.

Існує багато публікацій присвячених різноманітним методам класифікації БПЛА-зображень з метою визначення якісного та кількісного складу бур'янів [7, 8, 9, 10]. Однак, треба відмітити, що всі вказані роботи проводились із застосуванням професійних агрокоптерів, а для дешифрування часто використовувались пропріетарні програмні комплекси. Зайве говорити, що з фінансової очки зору такі наукові дослідження є дуже дорогими, а з практичної – не завжди реальні для вітчизняних аграріїв.

Відмітимо, що на сьогодні в Україні немає жодних офіційних методичних рекомендацій щодо контролю забур'яненості посівів за використанням БПЛА. Це не дивно, враховуючи динамічність розвитку даного промислового сектору та сучасну матеріально-технічну базу вітчизняної науки.

Саме тому **метою статті** є опрацювання методичних підходів до використання квадрокоптерів нижчої та середньої цінової

ланки та вільного програмного забезпечення для оцінки забур'яненості посівів.

Методика дослідження

Дослідження проводились у 2017 році на одному з полів учбового господарства Харківського національного аграрного університету імені В.В. Докучасва. На момент досліджень поле було зайняте соняшником, стадія розвитку рослин – бутонізація. Площа поля – 4 га, середній ухил поверхні – 1,14°, експозиція – південно-східна. Ґрунтовий покрив поля представлений чорноземом типовим важко суглинковим слабо еродованим. Вміст органічного вуглецю в орному шарі ґрунту – 1,6 - 2,5 %, відповідно, вміст органічної речовини ґрунту – 3,0 - 4,7 %, середній вміст фізичної глини – 51,8 %.

Дистанційне дослідження поля виконано за допомогою двох квадрокоптерів: DJI Phantom Vision 2+ та LadyBug. Зйомка виконувалась двома коптерами одночасно, в денний час – між 11 та 13 годинами, при ясній погоді. Зйомка коптером LadyBug проводилась у видимому діапазоні та ближньому

інфрачервоному діапазоні за допомогою цифрової 12 мегапіксельної камери S100 NDVI UAV-Kit з трьох висот: 20 м, 40 м, 60 м. Зйомка коптером DJI Phantom Vision 2+ проводилась у видимому діапазоні за допомогою цифрової 14 мегапіксельної камери GoPro з чотирьох висот: 10 м, 15 м, 30 м, 60 м.

Вибір камер і польотних висот обумовлювався поставленими завданнями досліджень: 1) перевіркою переваг застосування інфрачервоного діапазону для діагностики бур'янів, 2) вибору оптимальних висот для діагностики бур'янів.

Для проведення обліку бур'янів традиційними польовими методами в протилежних частинах поля було створено дві облікові ділянки розміром 1x1 м. Поруч з ділянками на спеціальних штативах на висоті 1,5 м були встановлені кольорові еталони, призначені для врахування зміни освітлення під час зйомки (рис.1).



Рис. 1 – Фрагмент загального знімка досліджуваного поля (знімок з коптера DJI Phantom Vision 2+)

Результати дослідження

Польове обстеження облікових ділянок показало, що на даній стадії розвитку соняшника, частина бур'янів знаходиться під його листям утворюючи зону, закриту для дистанційних спостережень (рис.2). Чітко фіксується на знімках лише та части-

на бур'янів, що знаходиться в міжряддях (відкрита зона).

Облік бур'янів виконувався ваговим методом з урахуванням якісного складу бур'янів. Результати польових спостережень наведені у таблиці 1.



Рис. 2 – Вигляд облікової ділянки для підрахунку кількості бур'янів. Видно, що значна їх частина закрита від дистанційного спостереження листям соняшника

Таблиця 1

Результати польового обліку бур'янів

Показник	В'юнок польовий	Молочай лозний	Пирій повзучий	Цикла-хена	Гірчак повзучий	Горошок мишачий	Маса сирих бур'янів, г	Маса сухих бур'янів, г
Облікова ділянка №1								
«Відкрита» зона	-	13	7	-	1	1	68,97	21,53
«Закрита» зона	-	9	1	-	1	1	36,37	8,89
Облікова ділянка №2								
«Відкрита» зона	2	10	4	1	-	-	65,78	25,12
«Закрита» зона	1	1	1	-	1	-	23,36	3,16

Облікові ділянки характеризувались середнім ступенем забур'яненості за [11] (3 бали). Незважаючи на те, що видовий склад та стадія розвитку окремих рослин бур'янів за обліковими ділянками досить суттєво розрізнялись, частка бур'янів, що закриті від дистанційного спостереження, була близькою, та складала на ділянці №1 – 34,5 %, на ділянці №2 – 26,2 % (від їх загальної біомаси).

Дешифрування БПЛА-знімку проводилось в програмах QGIS та TNTmips. Попередні дослідження довели [5], що опти-

мальною процедурою класифікації бур'янів є використання контрольованої класифікації. Класифікаційними ознаками слугували яскравості зображень в червоному, синьому та зеленому діапазонах для знімків, що були зроблені БПЛА Phantom Vision 2+, і в синьому, зеленому та інфрачервоному діапазонах для знімків, що були зроблені БПЛА LadyBug (рис.3).

Технологія контрольованої класифікації або класифікації з «учителем» загальноно відома [12]. Вона ґрунтується на розділенні всіх пікселів зображення по задале-

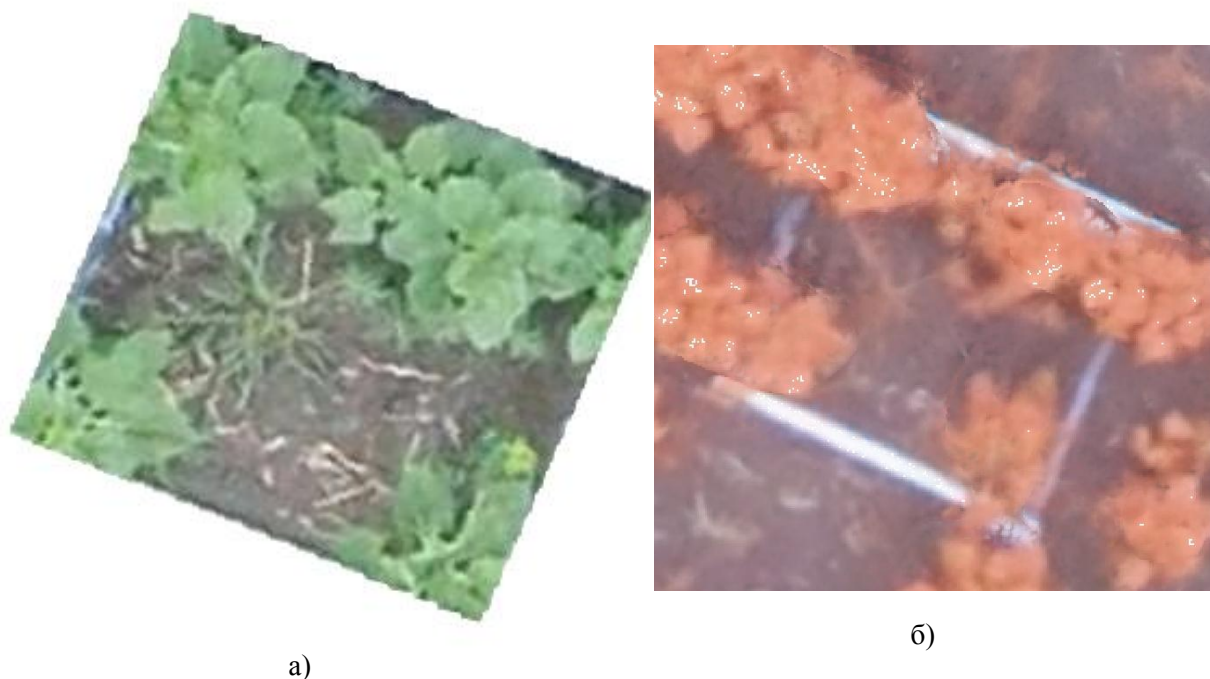
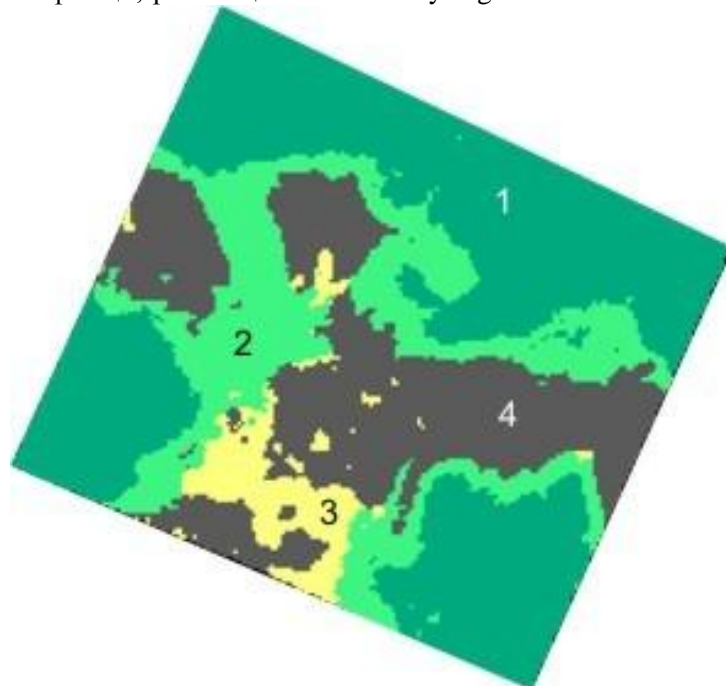


Рис. 3 – Знімки облікової ділянки №1, що зроблені БПЛА Phantom Vision 2+ (а) і LadyBug (б)

гідь визначених класах згідно з певними умовами. Для цього на знімку виділяють еталонні об'єкти по яких проводиться «навчання» програми. Кожен еталон містить значення ознак, характерних для одного з класів об'єктів. Спосіб віднесення пікселів зображення до класів об'єктів визначає визначене правило класифікації, реалізацію

якого забезпечує відповідний комп'ютерний алгоритм. В нашому випадку найкращі результати були отримані при застосуванні правила максимальної правдоподібності (рис.4).

Результати дешифрування зображень облікових ділянок, що були зроблені БПЛА LadyBug з висоти 20 м наведені у таблиці 2.



1 – клас «соняшник»; 2 – клас «бур'ян»; 3 – клас «рослинні рештки»; 4 – клас «грунт»

Рис. 4 – Результат класифікації зображення облікової ділянки №1 (LadyBug):

Кількісні результати контрольованої класифікації знімка

Клас	Об'єкт	Кількість пікселів	Відсоток
Облікова ділянка №1			
1	Соняшник	9760	45,9
2	Бур'ян	4692	22,1
3	Ґрунт	5563	26,2
4	Рослинні рештки	1211	5,7
Облікова ділянка №2			
1	Соняшник	4857	20,6
2	Бур'ян	5358	22,7
3	Ґрунт	12564	53,2
4	Рослинні рештки	818	3,5

Висновки

В ході досліджень підтверджено велику схожість спектральних кривих культурних рослин та бур'янів, що робить неефективним використання суто методів неконтрольованої класифікації. Підтверджено наші попередні висновки [5] щодо доцільності використання методів контрольованої класифікації для діагностики забур'яненості посівів.

Це в свою чергу доводить необхідність вибору малих висот при проведенні зйомки. Адже на висотах від 40 м за умов роботи з використаними нами камерами візуальне відділення бур'янів від соняшника стає проблемним, що в свою чергу не дозволяє зробити репрезентативні навчаючі вибірки.

Використання навчаючих вибірок, які були отримані на низьких висотах для знімків, що зроблені на більших висотах неможливо через зміну освітлення. Така ж проблема з'являється й при застосуванні навчаючої вибірки, яка була отримана на ділянці №1, для дешифрування зображення ділянки №2. Хоча відстань між ділянками становила 145 м, а погодні умови були незмінні, спектральні картини для двох ділянок значно відрізнялись. Вірогідно це обумовлюється зміною висоти стояння Сонця та відповідною зміною освітлення та/або впливом ледь помітних хмар.

Автори погоджуються з думкою [13], що при застосуванні контрольованої класифікації використання зйомки в інфрачервоному діапазоні не дає переваг перед зйомкою у видимому діапазоні, оскільки в своїх дослідженнях ми таких переваг також не

виявили. Можливість успішного використання звичайних фотокамер, що виконують зйомку у видимому діапазоні для оцінки забур'яненості посівів дозволяє значно здешевити технологію БПЛА-моніторингу бур'янів.

Ще одним важливим моментом є час проведення дистанційного контролю забур'яненості. Як зазначалось, в нашому випадку частина бур'янів була перекрита листям соняшника, що призводило до автоматичної недооцінки кількості бур'янистої рослинності приблизно на 30%.

В наших дослідженнях на відміну від більшості проаналізованих закордонних робіт був зроблений акцент на розробці максимально спрощеної методики БПЛА-моніторингу бур'янів. Хоча повністю задача на даному етапі не вирішена, оскільки така методика потребує чисельної перевірки практикою, але запропоновані нами методичні підходи можуть бути ефективно використані у виробництві з мінімальними витратами на технічний та програмний компоненти. Дистанційний контроль бур'янів дозволить ефективно боротись з ними за менших витрат гербіцидів, що не лише зменшує витрати на виробництво продукції, а і зменшує забруднення рослинницької продукції та навколишнього середовища.

Автори висловлюють щире подяку фірмі FlyMasters, яка виконала зйомку БПЛА LadyBug та фірмі InteticsGeo, яка провела первинну обробку БПЛА-знімків.

Література

1. Ачасов А. Б., Ачасова А. О., Тітенко Г. В., Селіверстов О. Ю., Сєдов А. О. Щодо використання БПЛА для оцінки стану посівів // Вісник ХНУ імені В.Н. Каразіна. сер. Екологія. 2015. вип. 13. С. 13 – 18.
2. Савин И.Ю., Вернюк Ю.И., Фараслис И. Возможности использования беспилотных летательных аппаратов для мониторинга продуктивности почв // *Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева*. 2015. № 80. С. 95-106.
3. Pfeifer J., Khanna R., Dragos C., Popovic M., Galceran E., Kirchgessner N., Walter A., Siegwart R., Liebisch F. Towards automatic UAV data interpretation for precision farming. *Proc. of the International Conf. of Agricultural Engineering (CIGR)*, 2016
4. Tokekar P., Hook J. V., Mulla D., Isler V. Sensor planning for a symbiotic UAV and UGV system for precision agriculture, p. 5321-5326. 2013.
5. Ачасов А. Б., Сєдов А. О., Ачасова А. О. Оцінка забур'яненості посівів соняшника за допомогою безпілотних літальних апаратів // *Людина та довкілля. Проблеми неоекології*. 2016. № 3-4. С. 69-74.
6. Шпанев А. М., Лекомцев П. В. Новые подходы к методике учета сорных растений // *Защита и карантин растений : ежемесячный журнал для специалистов, ученых и практиков*. 2012. N 8. С. 38-41/
7. Guerrero J. M., Pajares G., Montalvo M., Romeo J., Guijarro M.. Support vector machines for crop/weeds identification in maize fields. *Expert Systems with Applications*, 39(12):11149 – 11155, 2012;
8. Guo W., Rage U. K., Ninomiya S. Illumination invariant segmentation of vegetation for time series wheat images based on decision tree model. *Computers and Electronics in Agriculture*, 96:58– 66, 2013;
9. Hamuda E., Glavin M., Jones E. A survey of im processing techniques for plant extraction and segmentation in the field. *Computers and Electronics in Agriculture*, 125:184–199, 2016.
10. Lottes P., Hoferlin M., Sander S., Muter M., Schulze-Lammers P., Stachniss C.. An effective classification system for separating sugar beets and weeds for precision farming applications. *In Proc. of the IEEE Int. Conf. on Robotics & Automation (ICRA)*, 2016
11. Некос А. Н., Ачасов А. Б., Кочанов Е. О. Методи вимірювання параметрів навколишнього середовища: дистанційні методи : підручник. Х. : ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2017. 244 с.
12. Захист зернових культур від популяції шкідників, хвороб та бур'янів при інтенсивних технологіях / Б.А. Арешніков, М.П. Гончаренко, М.Г. Костюковський [та ін.]; за ред. Б.А. Арешнікова. К.: Урожай, 1992. 224 с.
13. Koot Th. M. Weed detection with Unmanned Aerial Vehicles in agricultural systems. Thesis Report GIRS-2014-37 . - Centre for Geo-Information. Wageningen University. URL: <http://edepot.wur.nl/333537>

References

1. Achasov, A. B., Achasova, A. O., Titenko, G. V., Seliverstov, O. Yu., Syedov, A. O. (2015) Shhodo vy`kory`stannya BPLA dlya ocinky` stanu posiviv [UAV usage for crop estimation]. *Visnyk of V.N. Karazin Kharkiv national university*, 13, 13-18. [In Ukrainian]
2. Savin, I.YU., Vernyuk, YU.I., Faraslis, I. (2015) Vozmozhnosti ispol'zovaniya bespilotnyh letatel'nyh apparatov dlya monitoringa produktivnosti pochv [Possibilities of using unmanned aerial vehicles for monitoring of soil productivity]. *Bulletin of Soil Institute named V.V. Dokuchaev*, 80, 95-106. [In Russian]
3. Pfeifer, J., Khanna, R., Dragos, C., Popovic, M., Galceran, E., Kirchgessner, N., Walter, A., Siegwart, R., Liebisch, F.(2016). Towards automatic UAV data interpretation for precision farming. *Proc. of the International Conf. of Agricultural Engineering (CIGR)*
4. Tokekar, P., Hook, J. V., Mulla, D., Isler, V.(2013). Sensor planning for a symbiotic UAV and UGV system for precision agriculture, 5321-5326.
5. Achasov, A. B., Syedov, A. O., Achasova, A. O.(2016) Ocinka zabur'yanenosti posiviv sonyashny`ka za dopomogoyu bezpilotny`x lital'ny`x aparativ [Assessment of a contamination of crops of sunflower by means of unmanned aerial vehicles]. *Man and the Environment. Issues of Neoecology*, 3-4, 69-74. [In Ukrainian]
6. Shpanev, A. M., Lekomcev, P. V. (2012) Novye podhody k metodike ucheta sornyh rastenij [New approaches to the method of accounting for weed plants]. *Plant protection and quarantine: a monthly journal for specialists, scientists and practitioners*, 8, 38-41. [In Russian]
7. Guerrero, J. M., Pajares, G., Montalvo, M., Romeo, J., Guijarro, M. (2012). Support vector machines for crop/weeds identification in maize fields. *Expert Systems with Applications*, 39(12):11149 – 11155.
8. Guo, W., Rage, U. K., Ninomiya, S. (2013). Illumination invariant segmentation of vegetation for time series wheat images based on decision tree model. *Computers and Electronics in Agriculture*, 96:58– 66.
9. Hamuda, E., Glavin, M., Jones, E.(2016). A survey of im processing techniques for plant extraction and segmentation in the field. *Computers and Electronics in Agriculture*, 125:184–199.

10. Lottes, P., Hoferlin, M., Sander, S., Muter, M., Schulze-Lammers, P., Stachniss, C. (2016). An effective classification system for separating sugar beets and weeds for precision farming applications. *In Proc. of the IEEE Int. Conf. on Robotics & Automation (ICRA)*.
11. Nekos, A. N., Achasov, A. B., Kochanov, E. O. (2017) *Metody` vy`miryuvannya parametriv navkoly`shn`ogo seredovy`shha: dy`stancijni metody: pidruchny`k*. [Methods of measuring environmental parameters: distance learning methods] Kharkiv, 2017, 244. [In Ukrainian]
12. Aryeshnikova, B.A. (1992). *Zaxy`st zernovy`x kul`tur vid populyaciyi shkidny`kiv, xvorob ta bur`yaniv pry`intensy`vny`x texnologiyax* [Protection of grain crops from the population of pests, diseases and weeds in intensive technologies]. Kiyv. Uroжай, 224. [In Ukrainian]
13. Koot, Th. M. Weed detection with Unmanned Aerial Vehicles in agricultural systems. Thesis Report GIRS-2014-37. - Centre for Geo-Information. Wageningen University. Available at: <http://edepot.wur.nl/333537>

Надійшла до редколегії 06.02.2018