

Вадим Олександрович ЛЮЛЬЧИК

кандидат сільськогосподарських наук,
викладач,

ВСП «Рівненський коледж Національного університету біоресурсів і
природокористування України»
E-mail: midaff80@ukr.net

Олег Ігорович КАЧАНОВСЬКИЙ

викладач,

ВСП «Рівненський коледж Національного університету біоресурсів і
природокористування України»
E-mail: myzvck2014@gmail.com

Сергій Васильович БУЛАКЕВИЧ

асистент,

кафедра геодезії та картографії,
Національний університет водного господарства та природокористування
E-mail: s.v.bulakevych@nuwm.edu.ua

ЗАСТОСУВАННЯ ГЕОІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ У СУЧАСНОМУ ЗЕМЛЕУСТРОЇ

Люльчик, В. О. Застосування геоінформаційних систем у сучасному землеустрої / Вадим Олександрович Люльчик, Олег Ігорович Качановський, Сергій Васильович Булакевич // Український журнал прикладної економіки. – 2017. – Том 2. – № 2. – С. 129-137. – ISSN 2415-8453.

Анотація

У статті наведено методи досліджень сільськогосподарських угідь з використанням даних дистанційного зондування Землі з космосу. На основі аналізу переваг та недоліків репрезентованих в Україні методів вперше розроблено технологію ідентифікації сільськогосподарських угідь, зайнятих посівами озимої пшениці з використанням матеріалів дистанційного зондування. Визначено та описано можливість отримання достовірної економічної інформації з прогнозування врожайності пшениці за матеріалами, отриманими з супутників системи Sentinel-2 та нейронних мереж. З метою оцінки точності було проведено зіставлення отриманих у процесі досліджень даних із статистичними показниками двох адміністративних районів, при чому похибка знаходиться в межах 4-12 %. Зроблені у статті висновки можуть бути використані управлінням агропромислового розвитку державних адміністрацій, центрами охорони родючості ґрунтів України, органами Держгеокадастру та іншими зацікавленими особами при розробці стратегій сталого розвитку відповідних адміністративних територій.

Ключові слова: дистанційне зондування Землі; індекс вегетації NDVI; біологічна врожайність; супутники Sentinel-2; прогнозування врожайності; нейронні мережі.

Vadym Oleksandrovykh LIULCHYK

PhD in Agricultural Sciences,
Lecturer,
Rivne College of National University of Bioresources and Nature Management of Ukraine
E-mail: midaff80@ukr.net

Oleh Ihorovych KACHANOVSKYI

Lecturer,
Rivne College of National University of Bioresources and Nature Management of Ukraine
E-mail: myzvuk2014@gmail.com

Serhii Vasylovych BULAKEVYCH

Assistant,
Department of Geodesy and Cartography,
National University of Water Management and Nature Resources Use
E-mail: s.v.bulakevych@nuwm.edu.ua

APPLICATION OF GEOINFORMATION SYSTEMS IN THE MODERN LAND MANAGEMENT

Abstract

The article presents methods of research of agricultural lands using the data of remote sensing of the Earth from space. On the basis of the results of the analysis of the advantages and disadvantages of the methods which are represented in Ukraine, it has been developed the technology for identification of agricultural land for winter wheat crops with the usage of remote sensing materials. It has been identified and described the possibility of obtaining reliable economic information for forecasting of wheat yield on the materials obtained from Sentinel-2 satellites and neural networks. In order to assess the accuracy, it has been done the comparison between the data obtained in the course of research and the statistical indicators of the two administrative districts, with the error being within the range of 4-12%. The conclusions of the research can be used by the departments of agro-industrial development of state administrations, the centers of soil fertility protection of Ukraine, the bodies of the State Geocodraw and other interested persons for the development of strategies of sustainable development of the appropriate administrative territories.

Keywords: *remote sensing of the Earth; vegetation index NDVI; biological yield; Sentinel-2 satellites; yieldforecasting; neural networks.*

JEL classification: Q15, Q56

Вступ

Останнім часом швидкими темпами зростає кількість інформації, що її на регулярній основі надають супутники спостереження Землі. Ця інформація використовується провідними країнами світу для підтримки прийняття управлінських рішень щодо побудови стратегії сталого розвитку, розв'язання проблем продовольчої безпеки, мінімізації негативного впливу змін клімату на довкілля та інших глобальних та локальних проблем.

Одним з важливих елементів у сучасному дистанційному зондуванні землі є інноваційний міжнародний проект Copernicus. У зв'язку із введенням в експлуатацію

ISSN 2415-8453. Український журнал прикладної економіки. 2017 рік. Том 2. № 2.

супутників сузір'я Sentinel у межах програми Copernicus Європейське космічне агентство (ESA) у 2014 році розпочало створення автоматичної системи отримання інформаційних продуктів супутника Sentinel-2. В операційну експлуатацію проект перейшов у 2017 році, а у 2016 році було реалізовано пілотне розгортання та тестування системи.

Проектом передбачено надання на регулярній основі продуктів атмосферної корекції (розрізнення – 10-20 м, кожні 12 днів), безхмарних композитів (розрізнення – 10, 20, 30 та 60 м, частота оновлення – 1 місяць), вегетаційних індексів LAI та NDVI (розрізнення – 10, 20, 30 та 60 м, щодавно), маски посівних територій (розрізнення – 10, 20, 30 та 60 м, уточнення – 1 раз на місяць) та карт землекористування (розрізнення – 10, 20, 30 та 60 м, двічі на сезон).

У 2016 році для України було реалізовано демонстраційний проект автоматичного формування супутникових продуктів обробки Sentinel-2 на рівні окремих областей у масштабі країни. Важливо, що українські фахівці забезпечили повний цикл обробки інформації – від отримання супутникових та наземних даних до формування кінцевих продуктів для споживачів. Починаючи з 2017 року, відбувається розгортання системи для регулярного створення продуктів на територію всієї країни, а також розвиток проекту з метою підключення даних інших супутникових систем та адаптації продуктів до потреб користувачів.

Зазначимо, що за останні десятиліття майже всі землі сільськогосподарського використання в Україні зазнали відчутної деградації. Значні площі, що використовуються для вирощування сільськогосподарських культур, важко контролювати тільки наземними засобами. Кожен рік змінюються межі посівних площ, змінюються характеристики ґрунтів та умови вегетації. Усі ці фактори негативно впливають на отримання оперативної інформації про стан сільськогосподарських культур і не дають змоги достовірного прогнозування врожайності, а також раціонального використання земель.

У нашій роботі для вирішення завдань моніторингу сільськогосподарських угідь за допомогою матеріалів ДЗЗ залучалися технічні засоби супутників сузір'я Sentinel.

Мета та завдання статті

Метою статті є розроблення технології ідентифікації сільськогосподарських угідь зайнятих посівами озимої пшениці з використанням матеріалів дистанційного зондування (супутникової системи Sentinel-2), та застосування нейронних мереж для розрахунків біомаси сільськогосподарських культур на всіх стадіях вегетації і прогнозування врожайності.

Виклад основного матеріалу дослідження

Упродовж 2016-2017 років дослідження озимих зернових культур проводились за такими напрямками:

- дослідження озимої пшениці в Рівненському та Дубнівському районах за 2016-2017 рр. з використанням методів ДЗЗ;
- застосування систем штучного інтелекту для розрахунків біомаси сільськогосподарських культур на всіх стадіях вегетації.

Для оцінки «щільності зеленої рослинності» було використано відомий показник Normalized Difference Vegetation Index (NDVI). NDVI (Нормалізований відносний індекс рослинності) — простий кількісний показник кількості фотосинтетичний активної біомаси (що зазвичай називається вегетаційним індексом). Один з найпоширеніших і

використовуваних індексів для вирішення завдань, які застосовують кількісні оцінки рослинного покриття.

Обчислюється за наступною формулою:

$$NDVI = (NIR - VIS) / (NIR + VIS), \quad (1)$$

де: *NearIR (NIR)* — інтенсивність відбитого сигналу у ближній інфрачервоній частині спектру;

VIS — інтенсивність відбитого сигналу у видимій частині спектру.

Згідно з цією формулою щільність рослинності (NDVI) в певній точці зображення дорівнює різниці інтенсивностей відбитого світла у видимому і інфрачервоному діапазонах, поділений на суму їх інтенсивностей. Розрахунок NDVI базується на двох найбільш стабільних (не залежних від інших чинників) ділянках спектральної кривої відображення рослин. У видимій області спектру (0,4-0,7 мкм) лежить максимум поглинання сонячної радіації хлорофілом вищих судинних рослин, а в інфрачервоній області (0,7-1,0 мкм) знаходиться область максимального відображення клітинних структур листа. Тобто висока фотосинтетична активність (безпосередньо пов'язана з густотою рослинності) веде до меншого відображення у видимій області спектру і більшого – в інфрачервоній. Відношення цих показників один до одного дозволяє чітко розрізняти рослинні та нерослинні об'єкти. Якщо використовується нормалізована різниця між мінімумом і максимумом відображень, то це збільшує точність і дозволяє зменшити вплив таких явищ, як відмінності в освітленості знімка, хмарності, серпанку, поглинання радіації атмосферою та ін.

За допомогою програмних засобів ERDAS IMAGINE проведено ландшафтну класифікацію з використанням експертного підходу. Експертна класифікація застосовує підхід, заснований на формальних вирішальних правилах (комп'ютерних базах знань). Вирішальні правила побудовані на основі значень NDVI, що відповідають типам об'єктів.

Результати моніторингових досліджень сільськогосподарських угідь, зайнятих озимою пшеницею впродовж 2016-2017 років з використанням даних супутникового сузір'я Sentinel (власна розробка). Найбільш сприятливими для ідентифікації озимих культур є листопад та березень. Листопад – найкращий місяць для проведення геоінформаційного аналізу супутникових знімків. Зумовлено це тим, що основна частина загальної рослинності в'яне, а озимі культури мають достатню висоту та щільність для їх виокремлення. Такі обставини дають можливість проводити більш достовірну класифікацію. У березні, окрім озимих культур, починають активно розвиватися ще й інші види рослинності. Так, наприклад, 2016 року погодні умови дали можливість провести класифікацію озимих культур у листопаді. Враховуючи, що в листопаді 2016 року була висока хмарність та туманність, отримати якісні космічні знімки не вдалося. У березні 2017 року було декілька безхмарних днів над досліджуваною територією, що дало можливість проведення робіт. Для дослідження ідентифікації озимої пшениці використані супутникові знімки за березень. Наступна робота зі знімками містила такі етапи:

1. Попередня обробка:

- трансформування даних у формат опрацювання в спеціалізованому ПЗ (*.img);
- застосування маски хмарності.

2. Тематична обробка:

- визначення індексу NDVI;
- дешифрування еталонних ділянок;

- визначення інтервалів NDVI еталонних ділянок, створення фінальних правил;
- експертна класифікація.

3. Визначення угідь з посівами озимої пшениці.

4. Застосування нейронних мереж для розрахунків біомаси сільськогосподарських культур на всіх стадіях вегетації і прогнозування врожайності.

В основу роботи була покладена та властивість сільськогосподарських земель, що на них істотно змінюється щільність зеленої маси (у даному випадку, це показник NDVI) у період із березня до початку листопада. Це справедливо як для озимих, так і для ярих сільськогосподарських культур і пов'язано з процесом обробітку угідь (оранка, збирання врожаю та ін.). При цьому зелена маса несільськогосподарських територій за той самий період часу змінюється несуттєво.

У процесі експертної класифікації було виявлено, що значення індексів вегетації озимої пшениці, лісів, багаторічних насаджень перетинаються, що унеможливило проведення безпосереднього достовірного визначення об'єктів. Також були проведені інші види класифікацій (з навчанням та без навчання) із застосуванням спектральної інформації каналів B8 та B4 супутника Sentinel-2.

Використовуючи векторні шари лісів, водних басейнів, міст, селищ, лук, доріг, садів та інших об'єктів, була створена маска, яка застосовувалась для маскування відповідних чистин знімка. Це дозволило провести класифікацію лише тих площ, які використовувалися для сільськогосподарського виробництва, результати експертної класифікації в зіставленні зі статистичними звітними даними відображені в таблицях 1 та 2.

Таблиця 1. Зіставлення площ посівів озимих зернових культур за даними ДЗЗ та статистичними звітами (2016р.)

	Досліджувана територія	Площа, тис. га		Збіжність результатів, %
		за звітом	за даними ДЗЗ	
1	Дубенський район	7,52	7,48	4
2	Рівненський район	4,71	4,81	10

Таблиця 2. Порівняння площ посівів озимих зернових культур за даними ДЗЗ та статистичними звітами (2017р.)

	Досліджувана територія	Площа, тис. га		Збіжність результатів, %
		за звітом	за даними ДЗЗ	
1	Дубенський район	2,30	2,42	12
2	Рівненський район	2,15	2,06	9

У нашому випадку помилка вимірювань залежала здебільшого від правильного визначення значень індексів вегетації для кожного типу об'єкта. Використання методу експертної класифікації для розрахунку характеристик площ є альтернативною для виконання досліджень з використанням тільки спектральної інформації для класифікації з навчанням і без навчання. Помилка розрахунку в цьому методі залежала від точності ідентифікації (тип рослинності – значення NDVI). Точність досягалася шляхом калібрування даних ДЗЗ – вимірів і польових вимірів по тестових ділянках. Також зазначимо, що на зіставність результатів впливала достовірність інформації статистичних звітних даних.

Проведена робота по ідентифікації посівів озимих культур Рівненського та Дубенського районів зумовила необхідність збільшення кількості тестових ділянок за просторовими ознаками. Це пов'язано з нерівномірністю факторів (термінів сівби, кліматичними умовами), які впливають на нерівномірний розвиток рослин, унаслідок чого збільшується розмах значень NDVI, розрахованих для об'єктів, які дешифруються на космічному знімку.

За умови виконання цих критеріїв з'явилася можливість одержання більш об'єктивної оцінки площ та стану посівів на всіх фазах розвитку сільськогосподарських культур у масштабі адміністративного району, що необхідно для ефективності управління сільськогосподарськими угіддями.

Результати застосування нейронних мереж для розрахунків біомаси сільськогосподарських культур на всіх стадіях вегетації і прогнозування врожайності.

Упродовж 2016-2017 років у результаті наземних та космічних досліджень були отримані дані, які впливають на динаміку розвитку рослин:

- NDVI на всіх стадіях розвитку рослин;
- біомаса сільськогосподарських культур на всіх стадіях розвитку рослин;
- склад ґрунтів;
- вміст гумусу у ґрунті.

Тому постало завдання встановити залежність між отриманими даними і врожайністю сільськогосподарських культур. Оскільки врожайність напряму залежить від біомаси, можна встановити залежність біомаси від NDVI та від часу, в період котрого проводились виміри.

NDVI – це показник, який інтегрує в себе всі зібрані дані, які впливають на розвиток рослин, тому для отримання прогнозу врожайності було встановлено залежність між NDVI, отриманими зі знімків, та біомасою, отриманою за допомогою наземних досліджень (рис.2).

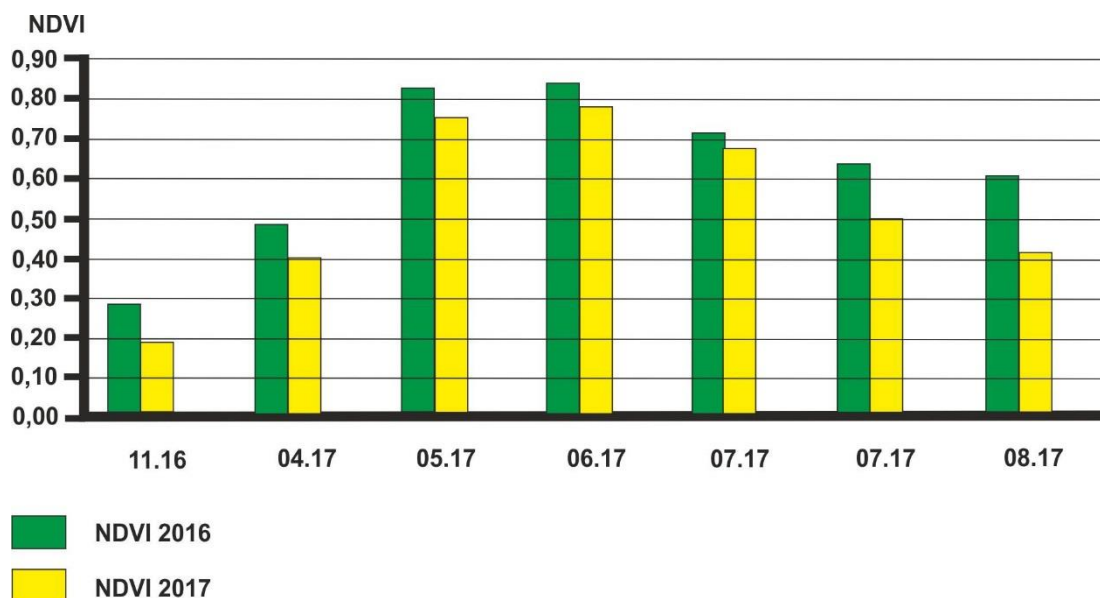


Рис. 2. Залежність NDVI від часу та біомаси озимої пшениці за 2016-2017 рр.

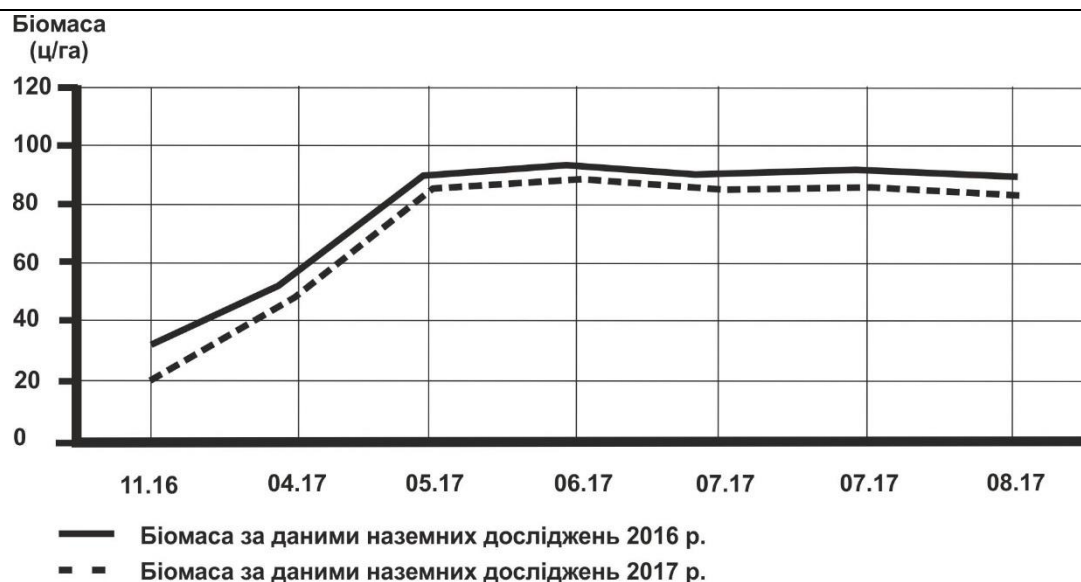


Рис. 3. Залежність біомаси озимої пшениці за 2016-2017рр.

Для отримання залежності біомаси рослин від NDVI та часу, на підставі експериментальних даних була створена нейронна мережа (рис. 4) і проведено її навчання. Це дозволило розраховувати біомасу рослин у період усіх фаз розвитку.

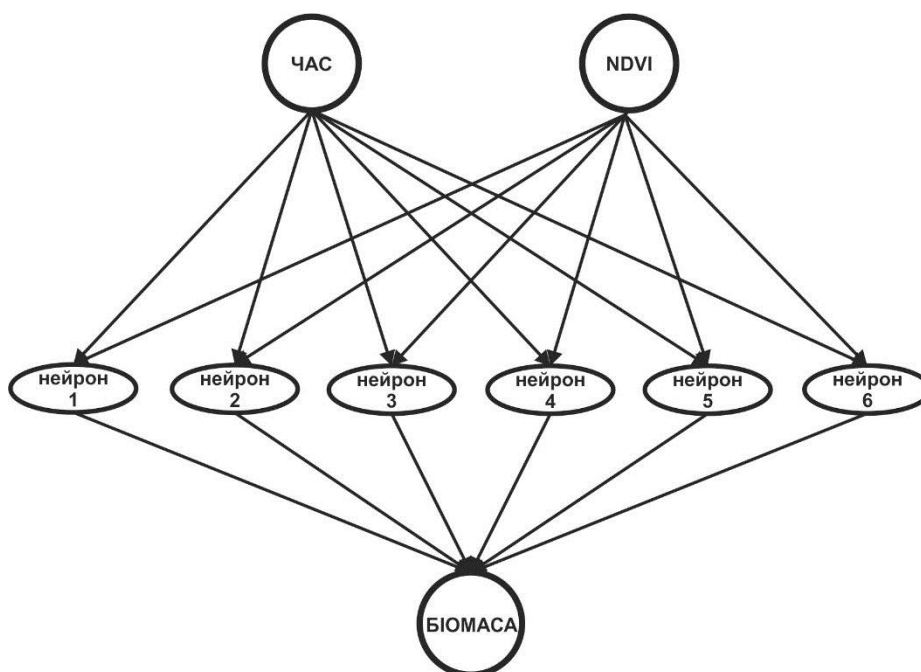


Рис. 4. Топологічна схема нейронної мережі

За допомогою інформаційної моделі, створеної на основі нейронної мережі, було реалізовано наступні пункти:

- розраховано біомасу зернових сільськогосподарських культур на всіх фазах розвитку в межах досліджуваної території;
- розраховано врожайність на останній фазі розвитку рослин;

- для збільшення точності проведення розрахунків біомаси та врожайності зернових сільськогосподарських культур, було об'єднано всі дані по біомасі і NDVI за 2016-2017 роки на всіх фазах розвитку рослин.
Результати наведено в табл. 3.

Таблиця 3. Результати досліджень біомаси озимої пшениці (2016-2017 рр.)

Дата визначення	Фази розвитку рослин	NDVI		Наземні		Нейрона мережа	
				біомаса (ц/га)		біомаса (ц/га)	
		2016	2017	2016	2017	2016	2017
11.05	3-й листок-кущіння	0,28	0,19	19	18	22	24
04.06	Вихід у трубку	0,46	0,35	66	61	53	56
05.06	Колосіння	0,83	0,755	98	93	112	115
06.06	Молочна стиглість	0,829	0,78	135	115	142	121
07.06	Воскова стиглість	0,696	0,65	127	117	131	120
07.06	Воскова стиглість	0,615	0,40	120	115	140	119
08.06	Повна стиглість	0,59	0,356	106	100	87	105

На підставі отриманих даних нейронну мережу було удосконалено, після чого проведено її навчання. У результаті отримано інформаційну модель, яка більш точно відображає залежності NDVI від часу і від біомаси зернових сільськогосподарських культур.

Висновки та перспективи подальших розвідок

Україна є одним із найбільших гравців на ринку зерна і водночас має славу історію розвитку космічної галузі. Значну частку національного валового продукту нашої країни забезпечують агропромисловий комплекс та інформаційні технології. Сучасні інноваційні технології супутникового моніторингу використання сільськогосподарських угідь, прогнозування врожайності та валового збору основних сільськогосподарських культур є досить актуальними для України.

У межах проведення дослідних робіт було реалізовано наступні пункти:

1. Розроблено та апробовано технологію ідентифікації сільськогосподарських угідь, зайнятих посівами озимої пшениці з використанням матеріалів дистанційного зондування (супутникової системи Sentinel-2).
2. Розроблено та застосовано нейронну мережу для розрахунків біомаси сільськогосподарських культур на всіх стадіях вегетації і прогнозування врожайності.
3. Обґрунтовано можливість застосування знімків середньої роздільної здатності відкритих даних для підвищення якості моніторингу сільськогосподарських угідь на рівні адміністративного району (або сільськогосподарського підприємства).

Список літератури

1. Дослідження озимих сільськогосподарських культур на основі даних дистанційного зондування землі з космосу / І. І. Білан, М. Ю. Пакшин, О. В. Скубко, В. М. Стасюк // Збірник наукових праць. Вип. 15: Проблеми моніторингу ґрунтів і сучасні технології відтворення їх родючості. Кам.-Подільський.: ПДАТУ, 2007. – С. 138 – 143.
2. Інформація аерокосмічного землезнавства / За редакцією С. О. Довгого і В. І. Лялька. – К.: Наукова думка-2001.
3. Звіт про підсумки роботи в агропромисловому комплексі Рівненської області за 2016 рік.
4. Звіт про підсумки роботи в агропромисловому комплексі Рівненської області за 2017 рік.
5. Лурье, И. К. Теория и практика цифровой обработки изображений / И. К. Лурье, А. Г. Косиков. – М.: Научный мир, 2003.
6. Кашкин, В. Б. Дистанционное зондирование Земли из космоса. Цифровая: обработка изображений: учебное пособие / В. Б. Кашкин, А. И. Сухинин. – М.: Логос, 2001.
7. Towards a set of agrosystem-specific cropland mapping methods to address the global cropland diversity / F. Waldner, M. Lavreniuk, S. Skakun, N. Kussul, P. Defourny // International Journal of Remote Sensing. – 2016. – vol. 37, no. 14. – P. 3196 – 3231.

References

1. Bilan, I. I., Pakshyn, M. Yu., Skubko, O. V., Stasyuk, V. M. (2007). Doslidzhennya ozymykh sil's'kohospodars'kykh kul'tur na osnovi danykh dystantsiynoho zonduvannya zemli z kosmosu. *Problemy monitorynhu gruntiv i suchasni tekhnolohiyi vidtvorennya yikh rodyuchosti*, 15, 138-143.
2. Dovhyy, S. O. & Lyal'kj, V. I. (2001). *Informatsiya aerokosmichnoho zemleznnavstva*. Kyiv: Naukova dumka, 2001.
3. *Zvit pro pidsumky roboty v ahropromyslovomu kompleksi Rivnens'koyi oblasti za 2016 rik.* (2016).
4. *Zvit pro pidsumky roboty v ahropromyslovomu kompleksi Rivnens'koyi oblasti za 2017 rik.* (2017).
5. Lur'e, Y. K. & Kosykov, A. H. (2003). *Teoriya i praktika tsyfrovoy obrabotki izobrazheniy*. Moscow: Nauchnyy mir.
6. Kashkin, V. B. & Sukhynyn, A. Y. (2001). *Distantcionnoe zondirovanie Zemly iz kosmosa. Tsyfrovaya: obrabotka izobrazheniy*. Moscow: Lohos.
7. Waldner, F., Lavreniuk, M., Skakun, S., Kussul, N. & Defourny, P. (2016). Towards a set of agrosystem-specific cropland mapping methods to address the global cropland diversity. *International Journal of Remote Sensing*, 37(14), 3196-3231.

Стаття надійшла до редакції 20.06.2017 р.