

doi: <https://doi.org/10.15407/dopovidi2017.06.051>

УДК 551.582.1

В.І. Лялько, Л.О. Єлістратова, О.А. Апостолов

ДУ “Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі ІГН НАН України”, Київ

E-mail: alex@casre.kiev.ua

Оцінка посівних площ озимих культур за даними космічної зйомки з супутника Landsat на території Донецької області

Представлено академіком НАН України В.І. Ляльком

Проаналізовано зміни вегетаційного індексу нормалізованої різниці (NDVI) та водного індексу (WI) за даними супутникових знімків Landsat (за 24 квітня, 30 серпня 2011 р. та 5 квітня, 11 серпня 2016 р.) для визначення площ посівів озимої пшениці за 2011 і 2016 рр. на Донеччині. Виявлено, що площа посівів озимих культур у 2016 р. у п'ять разів менша, ніж у 2011 р. Дано оцінку економічних втрат Донецької області.

Ключові слова: *вегетаційний індекс нормалізованої різниці, водний індекс, озимі культури, супутник Landsat.*

Актуальність дослідження. Досконало оцінити економічний стан агроєкосистем досить складно, навіть у мирний час. Виробництво, постачання, споживання, заощадження, інвестиції — усе це змінюється під впливом реалій війни, що спричиняє занепад налагодженого механізму функціонування народного господарства, зокрема сільськогосподарського виробництва. За таких умов навіть найгрубіший аналіз економічної активності регіону перетворюється на складне завдання. Важливою складовою для отримання інформації для розв'язання завдань агропромислового виробництва є супутникові спостереження за станом рослинності суходолу, зокрема сільськогосподарських угідь.

Метою дослідження було визначення посівних площ озимих культур за даними супутника Landsat в зоні бойових дій (Донецька область) для оцінки економічних втрат.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Роботи з моніторингу аграрних об'єктів спеціалістами Наукового центру аерокосмічних досліджень Землі Інституту геологічних наук НАН України розпочато у 1980-х р. [1, 2]. Активні розробки над створенням методик прогнозування врожайності озимої пшениці на рівні адміністративних районів за допомогою використання інформації з приладів дистанційного зондування Землі проводяться з 2001 р. і знайшли своє відображення в наукових працях [3–5].

© В.І. Лялько, Л.О. Єлістратова, О.А. Апостолов, 2017

ISSN 1025-6415. Допов. Нац. акад. наук Укр. 2017. № 6

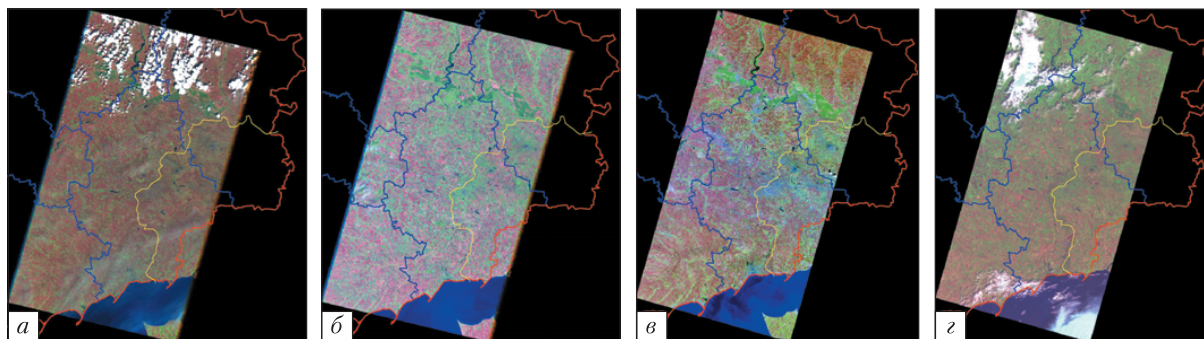


Рис. 1. Дані з супутника Landsat 5 за 24 квітня 2011 р. (а), 30 серпня 2011 р. (б) і з супутника Landsat 8 за 5 квітня 2016 р. (в), 11 серпня 2016 р. (з). Умовні позначення: червоним кольором позначено державний кордон України, синім — межі областей України, жовтим — лінію АТО, станом на 2016 р.

Широкомасштабне застосування дистанційної інформації для розв'язання задач агропромислового виробництва спостерігається в країнах Європейського союзу, США, Росії, Білорусії, Казахстані, Азербайджані та ін. [6–8].

У даному дослідженні інформацію, отриману шляхом аналізу космознімків, використано для визначення стану сільськогосподарського виробництва Донецької області, в зоні проведення бойових дій, що також дало можливість за допомогою застосування непрямих оцінок з'ясувати гуманітарну ситуацію в тимчасово непідконтрольному Україні регіоні.

Матеріали та методика дослідження. Для порівняння площ посівів озимих культур за різні роки нами проаналізовано архів космічних знімків з супутника Landsat на території Сходу України. Для аналізу було взято два знімки (path — 176, row — 26 та 27) за 24 квітня 2011 р., які майже на 100% охоплюють Донецьку область, два знімки з супутника Landsat 5 за 30 серпня 2011 р. і два знімки з супутника Landsat 8 за 5 квітня та 11 серпня 2016 р. (рис. 1). За допомогою програми з обробки космічних зображень Erdas Imagine було сформовано з двох сусідніх знімків на одну дату один знімок, з використанням процедури Data Preparation / Mosaic Images та Images Interpreter / Utilities / Layer Stack.

Для визначення площ посівів озимих культур нами використана методика оцінки посівів озимих культур, розроблена співробітниками ЦАКДЗ ІГН НАН України [9–11]. Суть цієї методики полягає в зіставленні вегетаційного індексу нормалізованої різниці (NDVI) та водного індексу (WI) за період виходу з зими та за період, коли озимі культури скошені на полях. Індекс NDVI розраховується за формулою

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad (1)$$

Індекс WI (water index) запропонований співробітником ЦАКДЗ доктором геологічних наук О.І. Сахацьким [11]. Він розраховується за формулою

$$WI = \frac{GREEN - SWIR}{GREEN + SWIR} \quad (2)$$

На першому етапі визначали значення індексів за формулами (1) та (2) для супутників Landsat за квітень та серпень 2011 та 2016 рр. Формули набувають такого вигляду:

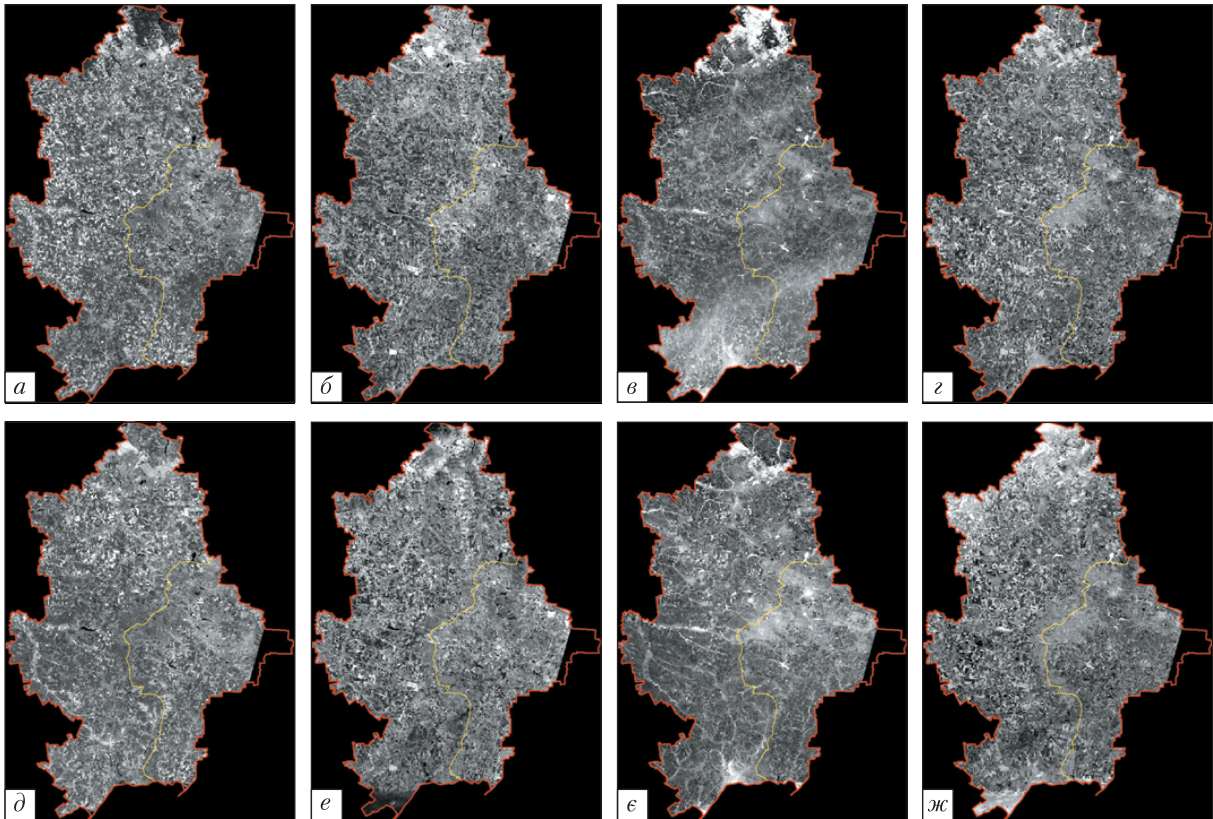


Рис. 2. Розрахунок індексів за даними з супутника Landsat 5 за 2011 рік (*a* – NDVI за 24 квітня, *б* – NDVI за 30 серпня, *в* – WI за 24 квітня, *г* – WI за 30 серпня) і Landsat 8 за 2016 рік (*д* – NDVI за 5 квітня, *е* – NDVI за 11 серпня, *є* – WI за 5 квітня, *ж* – WI за 11 серпня)

для супутника Landsat 5

$$\text{NDVI} = \frac{\text{ch4} - \text{ch3}}{\text{ch4} + \text{ch3}}, \quad \text{WI} = \frac{\text{ch2} - \text{ch7}}{\text{ch2} + \text{ch7}}, \quad (3)$$

для супутника Landsat 8

$$\text{NDVI} = \frac{\text{ch5} - \text{ch4}}{\text{ch5} + \text{ch4}}, \quad \text{WI} = \frac{\text{ch3} - \text{ch7}}{\text{ch3} + \text{ch7}}, \quad (4)$$

де *ch* – номер каналу супутника.

На другому етапі оцінювали різницю між індексами за серпень і квітень одного року. На третьому етапі, використовуючи одночасно значення індексів NDVI та WI, визначали площі, на яких були посіви озимих культур.

У серпні озимі культури скошені, а вся інша рослинність ще присутня, у квітні присутні тільки озимі культури, тому різниця між значеннями індексів NDVI та WI за серпень і квітень для озимих культур від'ємна. Таким чином, від'ємні значення індексів характеризують посіви озимих культур. Тільки озимі культури мають такий характер розподілу значень індексів, уся інша рослинність, навпаки, в серпні дає приріст біомаси, тобто різниця між індексами NDVI та WI за серпень і квітень буде додатною. Одночасне використання двох

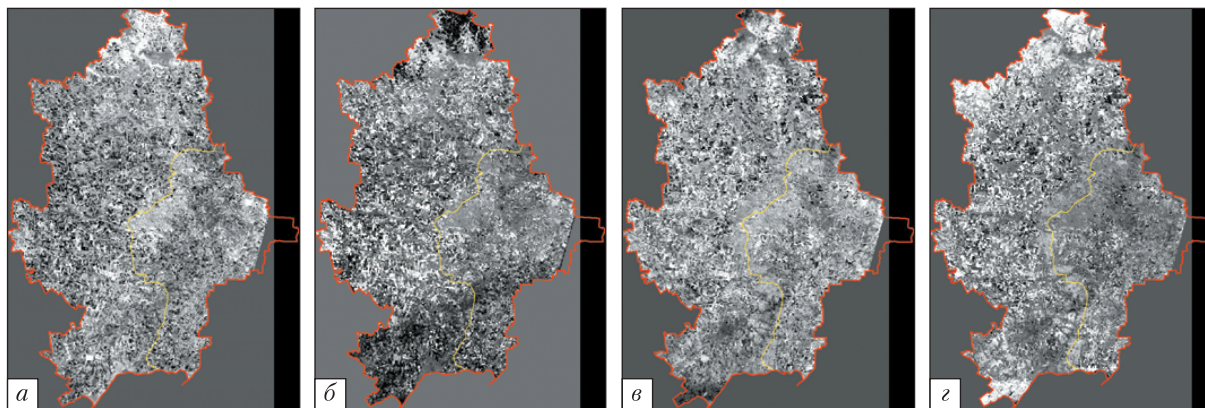


Рис. 3. Розрахунок різниці індексів NDVI та WI за 2011 та 2016 рр. *а* – різниця між значеннями індексу NDVI за 30 серпня та 24 квітня 2011 р.; *б* – різниця між значеннями індексу WI за 30 серпня та 24 квітня 2011 р.; *в* – різниця між значеннями індексу NDVI за 11 серпня та 5 квітня 2016 р.; *г* – різниця між значеннями індексу WI за 11 серпня та 5 квітня 2016 р.

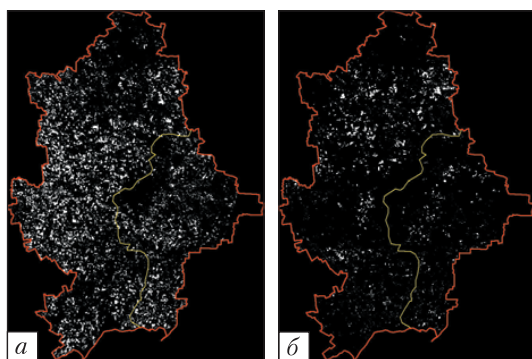


Рис. 4. Визначення площ посівів озимих культур на території Донецької області за даними супутника Landsat 5 за 2011 р. (*а*) та Landsat 8 за 2016 р. (*б*)

індексів для визначення площ озимих культур необхідно, щоб точно відокремити озимі культури від інших об'єктів. Наприклад, використання тільки індексу NDVI не дає змоги відокремлювати водні об'єкти, а індекс WI забезпечує таку можливість.

За допомогою програми з обробки космічних знімків Erdas Imagine, із застосуванням процедури Spatial Modeler / Model Maker було розраховано значення індексів NDVI та WI для супутника Landsat 5 за 24 квітня і 30 серпня 2011 р. за формулою (3), а також для супутника Landsat 8 за 5 квітня і 11 серпня 2016 р. за формулою (4). Результати розрахованих індексів наведено на рис. 2. Білим кольором позначено максимальні значення індексів NDVI та WI, а чорним – мінімальні. Максимальні значення індексу NDVI відповідають рослинності, мінімальні – території без рослинності. Максимальні значення індексу WI відповідають водній поверхні та рослинності, мінімальні – території, де немає водної поверхні або рослинності.

Згідно з методикою аналізу, на другому етапі було розраховано різницю індексів NDVI та WI за один рік:

$$\begin{aligned}
 \text{NDVI}_{\text{різниця 2011}} &= \text{NDVI}_{30.08.2011} - \text{NDVI}_{24.04.2011}, \\
 \text{WI}_{\text{різниця 2011}} &= \text{WI}_{30.08.2011} - \text{WI}_{24.04.2011}, \\
 \text{NDVI}_{\text{різниця 2016}} &= \text{NDVI}_{11.08.2016} - \text{NDVI}_{5.04.2016}, \\
 \text{WI}_{\text{різниця 2016}} &= \text{WI}_{11.08.2016} - \text{WI}_{5.04.2016}.
 \end{aligned}
 \tag{5}$$

Результати розрахунків за формулами (5) наведено на рис. 3.

Оцінка економічного ефекту. На рис. 4 візуально видно зменшення площ посівів озимих культур в 2016 р. Було зроблено спробу оцінити економічні втрати Донецької області від бойових дій на сході України на підставі результатів аналізу площ озимих культур за 2011 і 2016 рр. за матеріалами космічної зйомки. Проведені розрахунки показали, що порівняно з 2011 р. у 2016 р. площа озимих культур зменшилася в п'ять разів. Спробуємо оцінити орієнтовний економічний ефект, тобто втрати від зменшення врожаїв у вартісному еквіваленті.

Вирощувані на території України озимі культури включають такі види: озиму пшеницю, озиме жито, озимий ячмінь та озимий ріпак. Згідно з аналізом даних, наведених Державною статистичною службою, у 2011 р. площа посівів озимої пшениці становила 89 % усієї площі озимих культур, озимого ячменю — 9 %, а озимого жита та озимого ріпаку разом — близько 2 %. У 2016 р. під посіви озимої пшениці було відведено 93,9 % усієї площі озимих культур, озимого ячменю — 2,7 %, озимого жита — 0,6 %, озимого ріпаку — близько 2,8 % [13]. Джерелом інформації щодо врожайності (ц / 1 га) основних озимих культур були роботи [12, 13], стосовно ціни використано дані [14].

Розрахунок економічної частини проводили за такою схемою:

1) визначали площі озимих культур з використанням лише супутникових даних Landsat (див. рис. 4);

2) відповідно до відсотків зайнятих площ озимих за даними Державної статистичної служби [12, 13] розраховували площу для кожного типу озимої культури для даних, отриманих лише за космічними знімками;

3) значення площі культури (тис. га) множили на осереднене значення врожайності (ц з 1 га) і отримували значення валового збору (тис. т) для кожного типу озимої культури;

4) значення валового збору (тис. т) множили на ціну (грн за 1 т) і таким чином отримали величину прибутку (грн).

Згідно з результатами розрахунку, орієнтовна вартість урожаю озимих культур Донецької області у 2011 р. становила 3737 млн грн (467 млн доларів), у 2016 р. — 601 млн грн (23 млн доларів).

Дані щодо курсу долара були взяті з фінансового порталу Мінфіну України (<http://index.minfin.com.ua/arch/?nbu&2011-12-29>): для 2011 р. 1 долар = 8 грн, для 2016 р. 1 долар = 26 грн.

Аналіз отриманих результатів показав, що для Донецької області прибуток від використання озимих культур у гривневому еквіваленті знизився в 6 разів, а в доларовому — в 20 разів. Це пов'язано зі зменшенням площі посівів у п'ять разів, зі зниженням у 2016 р. цін на основні озимі культури порівняно з 2011 р. та стрибком курсу долара більш ніж у 3 рази. Ці результати можуть дати необхідне уявлення про економічні збитки у зв'язку зі зменшенням урожаїв озимих культур у межах досліджуваного регіону внаслідок військового конфлікту, оскільки інформація Держкомстату України по цій території або не повна, або відсутня взагалі.

ЦИТОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Лялько В.І., Колоша О.І. Метод ранньої діагностики перезимовки озимих посевів з використанням дистанційної інфрачервоної зйомки. *Изв. АН ССРСР. Сер. біол.* 1985. № 3. С. 456–458.
2. Шпортюк З.М., Сибірцева О.М., Дугін С.С. Вплив просочування природного газу на наземний хлорофільний індекс та позицію червоного краю спектрів відбиття пшениці над газовим родовищем. *Допов. Нац. акад. наук Укр.* 2011. № 11. С.115–119.
3. Лялько В.І., Сахацький О.І., Жолобак Г.М., Греков Л.Д. Контроль площ та стану озимих культур за допомогою знімків MODIS/TERRA та SPOT XI (на прикладі Київської області). *Допов. Нац. акад. наук Укр.* 2007. № 3. С.122–127.
4. Лялько В.І., Сахацький О.І., Жолобак Г.М., Апостолов О.А. Дистанційне визначення строків сівби соняшнику. *Космічна наука і технологія.* 2013. **19**, № 2. С. 74–78.
5. Барталев С.А., Бурцов М.А., Ершов Д.В., Ефремов В.Ю., Ильин В.В., Лупьян Е.А., Мазуров А.А., Мельник Н.Н., Нейштатд І.А., Полищук А.А., Столпаков А.В., Прошин А.А., Темников В.А., Флитман Е.В. Система автоматизованого збору, обробки та розповсюдження супутникових даних для моніторингу сільськогосподарських земель. *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса.* 2005. **1**. С.140–148.
6. V'eziat P., Ceschia E., Dedieu G. Carbon balance of a three crop succession over two cropland sites in South West France. *Agr. Forest Meteorol.* 2009. **149**. P. 1628–1645.
7. Спивак Л.Ф., Архипкин О.П., Нурғалиев С.Г., Шагарова Л.В. Дистанційна оцінка площ зернових в Казахстані за даними гіперспектрального радіометра MODIS. *Исследование Земли из космоса.* 2003. № 2. С.80–84.
8. Исмагова Х.Р. Роль даних дистанційного зондування при створенні цифрових карт землекористування в Азербайджані. *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса.* 2005. **2**. С. 273–279.
9. Сахацький О.І., Жолобак Г.М., Макарова Г.А., Апостолов О.А., Ющенко М.В. Класифікування земного покриття за супутниковими даними MODIS для моніторингу посівів озимих зернових у межах адміністративних районів Київської та Миколаївської областей України. *Космічна наука і технологія.* 2009. **15**, № 5. С. 16–23.
10. Жолобак Г.М. Використання методів дистанційного зондування Землі для моніторингу агроресурсів України. *Космічна наука і технологія.* 2010. **16**, № 6. С. 16–23.
11. Сахацький О.І. Методологія використання матеріалів багатоспектральної космічної зйомки для вирішення гідрогеологічних задач: Автореф. дис. ... д-ра геол. наук. Київ, 2009. 39 с.
12. Експрес-випуск від 18.12.2015 №375/0/06 вн-15. Посівні площі озимих культур під урожай 2016 року.
13. Експрес-випуск від 16.01.2012 № 8. Підсумки збору урожаю основних сільськогосподарських культур, плодів, ягід та винограду у 2011 році.
14. www.nibulon.com

Надійшло до редакції 18.01.2017

REFERENCES

1. Lyalko, V. I. & Kolosha, O. I. (1985). Method for early diagnosis of wintering of winter crops with the use of remote infrared shooting. *Biol. Bull. AS USSR*, No. 3, pp. 456-458 (in Russian).
2. Shportjuk, Z. M., Sibirtseva, O. N. & Dugin, S. S. (2011). The influence of natural gas seepage on the terrestrial chlorophyll index and the red edge position of wheat reflectance spectra over the gas field. *Dopov. Nac. akad. nauk Ukr.*, No. 11, pp. 115-119 (in Ukrainian).
3. Lyal'ko, V. I., Sakhats'kyi, O. I., Zholobak, G. M. & Grekov, L. D. (2007). The control over areas and the condition of winter crops by using MODIS/TERRA and SPOT XI images (by example of the Kyiv region). *Dopov. Nac. akad. nauk Ukr.*, No. 3, pp. 122-127 (in Ukrainian).
4. Lyalko, V. I., Sakhatsky, O. I., Zholobak, G.M. & Apostolov, O.A. (2013). Remote detection of sunflower sowing time. *Space sci. and technol.*, 19, No. 2, pp. 74-78 (in Ukrainian).
5. Bartalev, C. A., Burchov, M. A., Ershov, D. V., Efremov, V. U., Ilin, V. V., Lupyn, E. A., Mazurov, A. A., Melnik, N. N., Neishtatd, I. A., Polishuk, A. A., Stolpakov, A. V., Proshin, A. A., Temnikov, V. A. & Flitman, E. V.

- (2005). System of the automated collection, treatment and distribution of satellite data for monitoring of agricultural earth. Modern problems of remote sensing of Earth from Space, 1, pp. 140-148 (in Russian).
6. B'eziat, P., Ceschia, E. & Dedieu, G. (2009). Carbon balance of a three crop succession over two cropland sites in South West France. Agr. Forest Meteorol., No. 149, pp. 1628–1645.
 7. Spivak, L. F., Arkhipkin, O. P., Nurgaliev, S.G. & Shagarova, L.V. (2003). Remote Estimation of Cereal Areas in Kazakhstan Using Hyperspectral Radiometer MODIS Data. Issledovanie Zemli iz Kosmosa, No. 2, pp. 80-84 (in Russian).
 8. Ismatova, X. P. (2005). Role of data of the remote sensing at creation of digital maps of land-tenure in Azerbaijan. Modern problems of remote sensing of Earth from Space, 2, pp. 273-279 (in Russian).
 9. Sakhatsky, O. I., Zholobak, G. M., Makarova, H. A., Apostolov, O. A. & Yushchenko, M. V. (2009). Land cover classification for the monitoring of winter grain crops within the Kyiv oblast and Mykolaiv oblast (Ukraine) with the use of MODIS data. Space sci. and technol., 15, No. 5, pp. 16-23 (in Ukrainian).
 10. Zholobak, G. M. (2010). The use of remote sensing methods for agrosources monitoring in Ukraine. Space sci. and technol., 16, No. 6, pp. 16-23 (in Ukrainian).
 11. Sakhatsky, A. I. (2009). The methodology of using materials a lot of spectral space imagery for solving hydrogeological problems (Extended abstract of Doctor thesis). Kiev (in Ukrainian).
 12. Express-producing 18.12.2015, vn-15, No. 375/0/06. Sown area of winter crops for harvest in 2016 (in Ukrainian).
 13. Express-producing 16.01.2012, No. 8. The results of the harvest of major crops, fruits, berries and grapes in 2011 (in Ukrainian).
 14. www.nibulon.com

Received 18.01.2017

В.И. Лялько, Л.А. Елистратова, А.А. Апостолов

ГУ “Научный центр аэрокосмических исследований Земли ИГН НАН Украины”, Киев
E-mail: alex@casre.kiev.ua

ОЦЕНКА ПОСЕВНЫХ ПЛОЩАДЕЙ ОЗИМЫХ КУЛЬТУР ПО ДАННЫМ КОСМИЧЕСКОЙ СЪЕМКИ СО СПУТНИКА LANDSAT НА ТЕРРИТОРИИ ДОНЕЦКОЙ ОБЛАСТИ

Проанализированы изменения вегетационного индекса нормализованной разности (NDVI) и водного индекса (WI) по данным спутниковых снимков Landsat (24 апреля, 30 августа 2011 г. и 5 апреля, 11 августа 2016 г.) для определения площадей посевов озимой пшеницы за 2011 и 2016 гг. на Донетчине. Установлено, что площадь посевов озимых культур в 2016 г. в пять раз меньше, чем в 2011 г. Дана оценка экономических потерь Донецкой области.

Ключевые слова: вегетационный индекс нормализованной разности, водный индекс, озимые культуры, спутник Landsat.

V.I. Lyalko, L.A. Elistratova, A.A. Apostolov

Scientific Center for Aerospace Research of the Earth IGS of the NAS of Ukraine, Kiev
E-mail: alex@casre.kiev.ua

THE ESTIMATION OF CULTIVATED AREAS UNDER WINTER CROPS BY LANDSAT SURVEY DATA OVER THE DONETSK REGION

The changes in the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) and the Water Index (WI) by Landsat images (April 24 and August 30, 2011; April 5 and August 11, 2016) have been analyzed to detect the winter wheat areas for 2011 and 2016 within the Donechchyna. It is found that the winter crop area in 2016 is 5 times less than in 2011. The economic losses of the Donetsk region are assessed.

Keywords: Normalized Difference Vegetation Index, Water Index, winter crops, Landsat.