ВИКОРИСТАННЯ ДАНИХ СУПУТНИКОВОЇ ЗЙОМКИ в управлінні земельними ресурсами сільськогосподарського призначення

УДК:528.88:(504.064.3:631.1)(477.41)

Мар'яна ВАКОЛЮК [1,2]
Олексій САХАЦЬКИЙ [1]
Андрій ТАРНОПОЛЬСЬКИЙ [2]

[1] Державна установа «Науковий Центр аерокосмічних досліджень Землі Інституту геологічних наук Національної академії наук України»

[2] Державне підприємство «Центр державного земельного кадастру»

Ефективне управління земельними ресурсами країни, яке полягає у законодавчому регулюванні, створенні норм, правил, стандартів, системи моніторингу, є обов'язком держави. Всі землевласники та землекористувачі (в тому числі орендарі) зобов'язані дотримуватися законодавства, норм і правил. У свою чергу, держава має забезпечити механізми економічного регулювання використання земельних ресурсів. Система моніторингу — це той інструмент, який має забезпечити контроль за раціональним використанням земельних ресурсів. Сільське господарство є однією з ключових галузей економіки України, яка порівнянно з іншими використовує землю як основний засіб виробництва. Тому саме в цій галузі необхідно впроваджувати найкращі світові практики в управлінні та моніторингу земельних ресурсів.

Враховуючи міжнародне зростання ролі української сільськогосподарської продукції на світових ринках та постійну необхідність у забезпеченні внутрішнього попиту і беручи до уваги цінність землі як невідновного, національного ресурсу, зростає необхідність у вдосконаленні практик поводження із земельними ресурсами країни. Об'єктивна, оперативна та незалежна інформація про земельний покрив, його якісні та кількісні показники,

що базуються на даних супутникових зйомок, є джерелом інформації для контролю продовольчої ситуації в країні, моніторингу за дотриманням законодавства, мінімізації витрат сільськогосподарських підприємств, обґрунтування надання пільг та дотацій, інвентаризації земель, обрахування збитків (втрат), виплат грошової допомоги (компенсації) чи обрахунку суми страхової виплати в результаті впливу негативних зовнішніх факторів як кліматичного, так і антропогенного характеру та вирішення інших завдань [1].

Спектральні супутникові дані є джерелом інформації, корисної як для державних інституцій, так і для приватних комерційних структур. Приватним організаціям супутникові дані надають інформацію, що дозволяє ефективно управляти сільськогосподарським виробництвом, вчасно проводити втручання при виявленні небажаних процесів розвитку сільськогосподарських культур, економити добрива, раціонально використовувати пальне та техніку, контролювати сходи та інші вегетаційні фази розвитку культур. І як наслідок — раціонально, стало, ефективно використовувати потенціал ґрунту, отримуючи прибуток та дбаючи про навколишнє середовище. Для держави супутникові дані — це, передусім, незалежне джерело інформації про земельний покрив, вид діяльності на земельній ділянці, джерело інформації про стан продовольчої безпеки та оцінки наслідків негативних зовнішніх впливів. Візуально, статистично та аналітично оброблена спектральна супутникова інформація є незамінною в управлінні та прийнятті рішень.

З метою опробування можливостей дистанційних даних в Державному підприємстві «Центр державного земельного кадастру» (далі — Центр ДЗК) разом із фахівцями Державної установи «Науковий Центр аерокосмічних досліджень Землі Інституту геологічних наук НАН України» (далі — ЦАКДЗ) протягом 2014-2015 років виконувався пілотний проект «Методичні рекомендації використання даних аерознімання та супутникової зйомки для управління земельними ресурсами сільськогосподарського призначення на прикладі Фастівського району Київської області»[1] (далі — пілотний проект). Основним завданням проекту було побудувати картографічні зображення на основі спектральних даних супутникових зйомок, що можуть бути використані в підготовці аналітичних матеріалів та прийнятті рішень. Починаючи з кінця 2013 року, в Центрі ДЗК проведено низку робочих зустрічей із представниками іноземних компаній, що є операторами та постачальниками супутникових даних високої та надвисокої роздільної здатності — Satrec Initiative (Південна Корея), BlackBridge (Німеччина), European Space Imaging (Німеччина), Airbus Defence and Space (Франція), DigitalGlobe (США) з метою ознайомлення із продуктами компаній та вивчення умов використання даних, зокрема, в даному пілотному проекті.

Таблиця 1.
ХАРАКТЕРИСТИКА ЗОБРАЖЕНЬ КОСМІЧНИХ АПАРАТІВ

Назва космічного супутника	**Landsat-8 OLI** [2]	**RepidEye** [3]	**Kompsat-3** [4]
Спектральні характеристики, мкм	Pan: 0,5–0,68; Coastal: 0,43–0,45; Blue: 0,45–0,51; Green: 0,53–0,59; Red: 0,64–0,67; NIR: 0,85–0,88; SWIR (1): 1,57–1,65; SWIR (2): 2,11–2,29; Girrus: 1,36–1,68.	Blue: 0,44–0,51; Green: 0,52–0,59; Red: 0,63–0,68; Red Edge: 0,69–0,73; NIR: 0,76–0,85.	Pan: 0,45–0,90; Blue: 0,45–0,52; Green: 0,52–0,60; Red: 0,63–0,69; NIR: 0,76–0,90.
Просторова розрізненність, м	15 (pan); 30 (mult)	6,5 (mult)	0,7 (pan); 2,8 (multl)
Рівень обробки продукту	Рівень продукту 1T: – з радіометричною та геометричною корекцією; – з контрольними точками, що взяті із мережі даних GLS2000[3]; – UTM, WGS-84.	Рівень продукту 1B (Basic — базовий): – без атмосферної корекції; – із радіометричною корекцією; – сенсорна корекція; – без картографічної проекції.	Рівень продукту 1G: – без контрольних точок; – з радіометричною та геометричною корекцією; – сенсорна корекція; – MTF компенсація.
Радіометрична розрізненність, біт/піксель	16	16	14
Ширина полоси зйомки, км	185	77	16,8
Дати здійснених зйомок	2.05.2013 р.; 6.08.2013 р.; 06.06.2014 р.	22.04.2013 р.	22.05.2014 р.; 25.05.2014 р.; 09.06.2014 р.

За результатами проведених зустрічей, організаціями BlackBridge та Satrec Initiative безкоштовно надано супутникові дані з космічних апаратів (далі — КА) RapidEye та Kompsat-3 на територію Фастівського району (близько 900 км^2) для використання їх в пілотному проекті. Крім того, до дослідження включено дані КА Landsat-8 OLI[2], що є розробкою NASA та геологічної служби США (USGA).

У таблиці 1 приведено характеристики супутникових даних, що використані в пілотному проекті.

Роботи з тематичної обробки зображень, їх корекції, прив'язки,

[1] Дані аерознімання не були використані в даній роботі, оскільки протягом періоду дослідження не було проведено цільового аерознімання дослідної території.

[2] Усвідомлюємо, що для чистоти виконання дослідження необхідно проводити роботи на основі даних одного типу, але такої можливості не було.

[3] GLS 2000 — глобальна дослідна мережа Global Land Survey (GLS) була розроблена для забезпечення науковців та користувачів даних доступом до сумісної, поверхнево коректної та зкоордининованої колекції даних.

класифікації, виконувалися фахівцями Центру ЦАКДЗ. Ними протягом 2014 року проведено 3 експедиційні поїздки по території Київської області, зокрема — Фастівського району. На рис. 1 відображено 66 дослідних полів цього району, які були описані протягом експедицій, та використовувалися як навчальні при класифікації земельного покриву та сільськогосподарських культур під врожай 2014 року.

Дослідні навчальні поля (об'єкти) представляють різні типи земельного покриву — як антропогенного, так і сільськогосподарського характеру. В 2013 році не проводилося експедиційних поїздок на територію Фастівського району, тому використовувалися дані з інших співставних територій.

Далі наведено результати робіт. На рис. 2 приведено результати виконаної класифікації земельного покриву під врожай 2013 року на територію Фастівського району на основі даних RapidEye та Landsat-8 OLI. Класифікація проведена із використанням методу мінімальної відстані до середнього та максимальної вірогідності до множин супутникових даних. Аналогічно проведено класифікацію земного покриву та сільськогосподарських культур під врожай 2014 року на територію району з використанням даних КА Landsat-8 OLI (рис.3).

Класи земельного покриву за 2013 та 2014 роки відрізняються, оскільки при проведенні польових експедицій у 2013 році не стояло завдання із виконання даного проекту. Але оскільки даний пілотний проект націлений на аналіз земель сільськогосподарського призначення, то вважаємо, що в даному випадку цією неточністю можна знехтувати. На рис. 4 проілюстровано результати поєднання класифікованих земельних покривів під урожай 2013 року (рис. 2) та 2014 року (рис. 3) за методикою ЦАКДЗ.

Далі, на рис. 5, подано результат обрахунку величини вегетаційного індексу нормалізованої різниці — NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), який розраховано на основі спектральних даних надвисокої роздільної здатності супутника Kompsat-3 компанії Satrec Initiative. Вегетаційний індекс NDVI є основним спектральним індексом, за яким оцінюється стан рослинного покриву, зокрема, сходи сільськогосподарських культур, та здійснюється прогноз врожайності озимих культур [5-8].

Не зважаючи на недоліки використання індексу NDVI (чутливість до кута огляду, мертвої та опавшої біомаси, насичення при

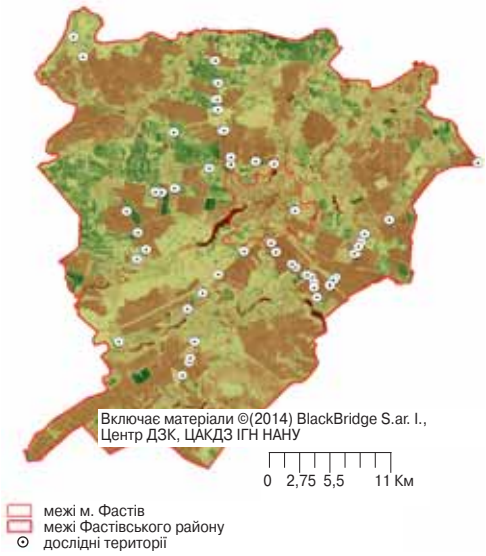


Рис. 1.
ВІДОБРАЖЕННЯ МІСЦЬ ОПИСУ ТЕРИТОРІЙ ФАСТІВСЬКОГО Р-НУ КИЇВСЬКОЇ ОБЛАСТІ, ЗДІЙСНЕНОГО ПРОТЯГОМ ЕКСПЕДИЦІЙ 2014 РОКУ

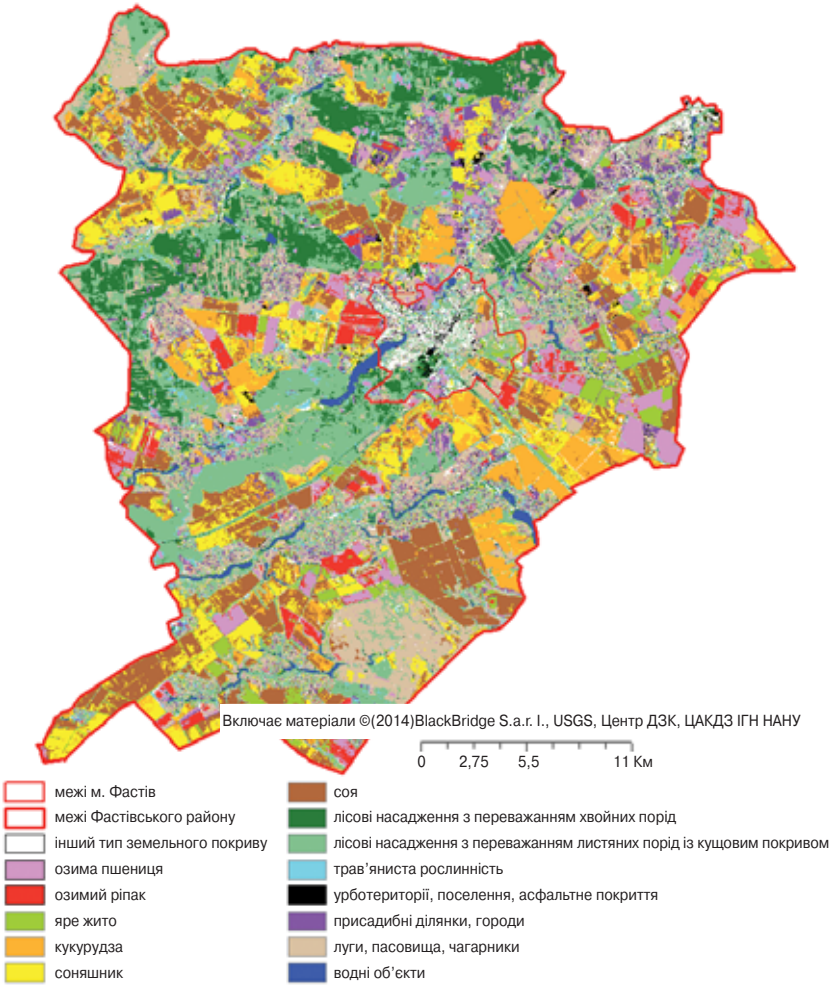


Рис. 2. **КЛАСИФІКАЦІЯ ЗЕМЕЛЬНОГО ПОКРИВУ ФАСТІВСЬКОГО РАЙОНУ КИЇВСЬКОЇ ОБЛАСТІ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ ПОЄДНАННЯ ДАНИХ СУПУТНИКОВОЇ ЗЙОМКИ RapidEye та Landsat-8 ЗА 2013 рік**

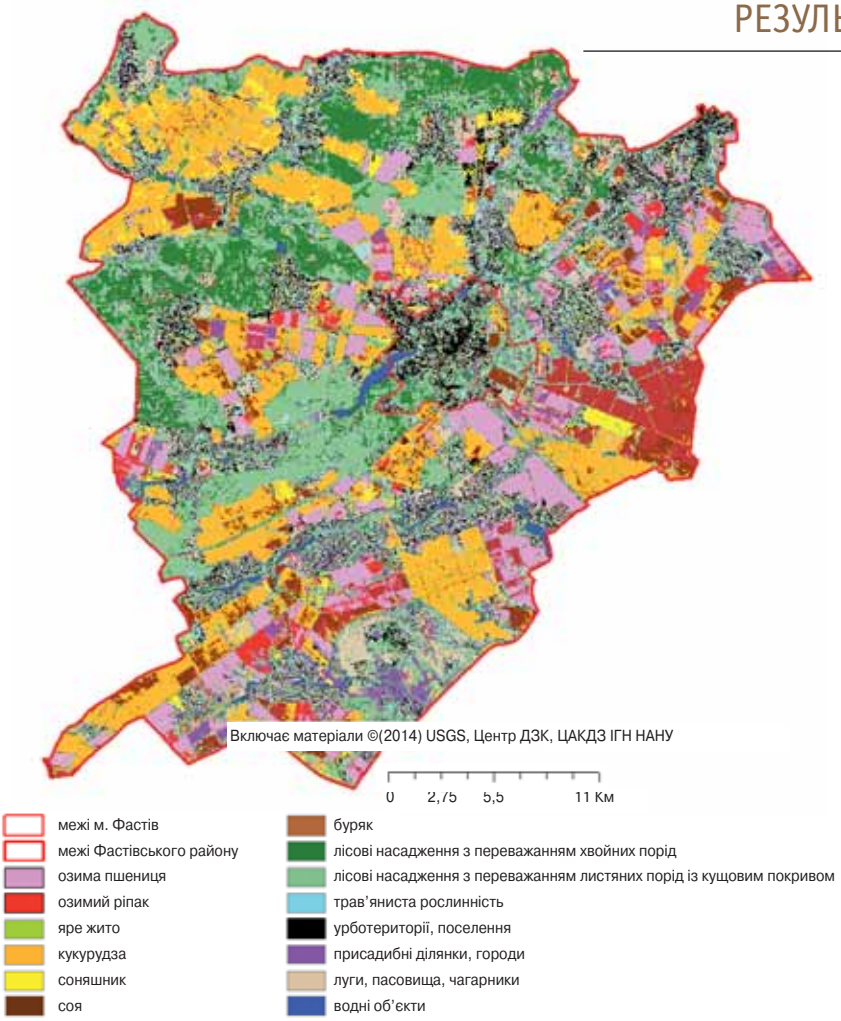
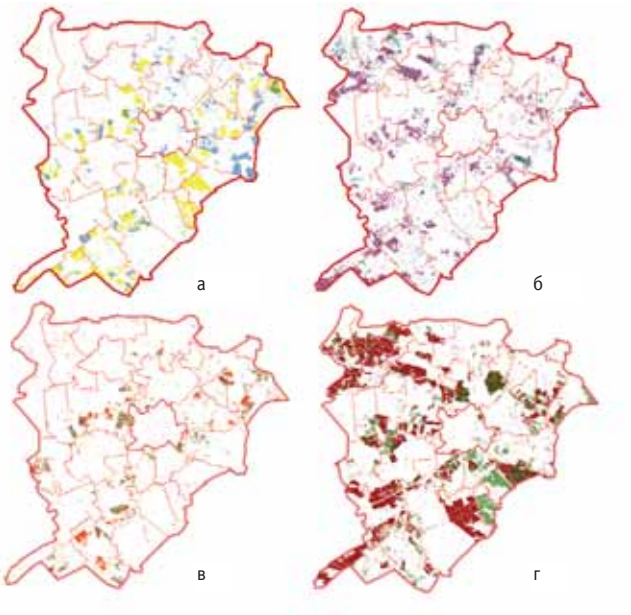


Рис. 3. **КЛАСИФІКАЦІЯ ЗЕМЕЛЬНОГО ПОКРИВУ ФАСТІВСЬКОГО РАЙОНУ КИЇВСЬКОЇ ОБЛАСТІ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ ВИКОРИСТАННЯ ДАНИХ ЗЙОМКИ СУПУТНИКА Landsat-8 ЗА 2014 рік**

високому індексі листяної поверхні (LAI), ґрунтових та атмосферних впливів), що, зокрема, висвітленні в публікації [8], NDVI є найбільш широко використовуваним вегетаційним індексом в контексті екосистемних досліджень, завдяки його тісному взаємозв'язку з біомасою, індексом листяного покриву, абсорбцією фотосинтетично активної радіації, тенденціями фотосинтезу та транспірації, дихання. Величина індексу від 0 до 1 та його градація дає фахівцям інформацію про стан рослинності в кожному пікселі поля.

Крім того, порівнявши результати оцінки площ сільськогосподарських культур Фастівського району, отриманих на основі супутникової інформації (за даними знімання Landsat-8 OLI), із офіційними даними головного управління статистики у Київській області [9] за 2014 рік (таблиця 2), різниця класифікації за даними супутникового знімання становить від 2,63 до 21% порівнянно із статистичними даними.

Причинами цього є такі фактори: 1) низька просторова роздільна здатність КА Landsat-8 OLI (таблиця 1); 2) не ідентичність класифікації типів культур за супутниковими даними та Номенклатурою продукції сільського господарства; 3) відсутність точної інформації та даних про правильність віднесення



Включає матеріали © USGS, BlackBridge S.a.r. l., Центр ДЗК, ЦАКДЗ ІГН НАНУ

а) території із посівами озимої пшениці:
- території із посівами під урожай 2013 р.;
- території із посівами під урожай 2014 р.;
- території з перекриттям посівів 2013 та 2014 рр.

б) території із посівами соняшнику:
- території із посівами під урожай 2013 р.;
- території із посівами під урожай 2014 р.;
- території з перекриттям посівів 2013 та 2014 рр.

в) території із посівами озимого ріпаку:
- території із посівами під урожай 2013 р.;
- території із посівами під урожай 2014 р.;
- території з перекриттям посівів 2013 та 2014 рр.

г) території із посівами кукурудзи:
- території із посівами під урожай 2013 р.;
- території із посівами під урожай 2014 р.;
- території з перекриттям посівів 2013 та 2014 рр.

Рис. 4.
ВІДОБРАЖЕННЯ РОТАЦІЙ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР ПІД УРОЖАЙ 2013 ТА 2014 РОКІВ НА ТЕРИТОРІЮ ФАСТІВСЬКОГО РАЙОНУ КИЇВСЬКОЇ ОБЛАСТІ

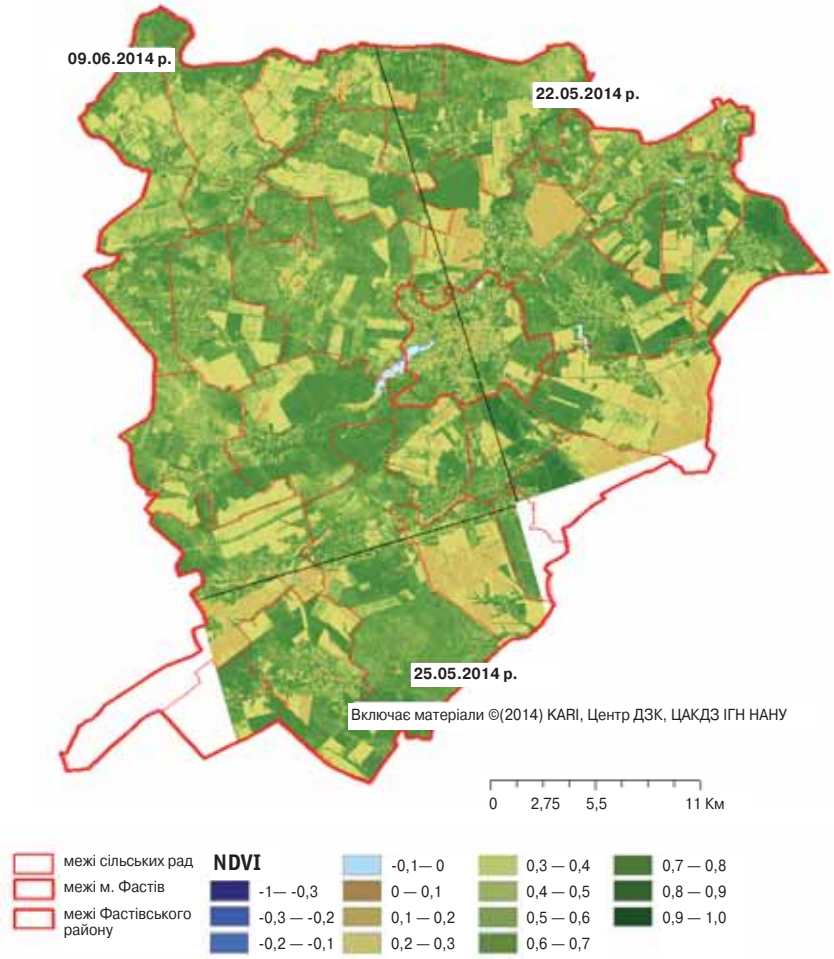


Рис. 5. **ВЕЛИЧИНА ВЕГЕТАЦІЙНОГО ІНДЕКСУ NDVI, РОЗРАХОВАНОГО НА ОСНОВІ РЕЗУЛЬТАТІВ ЗНІМАННЯ ТЕРИТОРІЇ ФАСТІВСЬКОГО РАЙОНУ СУПУТНИКОМ Kompsat-3 22.05.2014 р., 25.05.2014 р. та 09.06.2014 р.**

сільськогосподарських культур (кукурудза, буряк) до зернових та технічних культур; 4) попадання в класифікацію інших типів земельного покриву (наприклад, водно-болотних угідь, молодих лісонасаджень, просік, ґрунтових доріг) та ін. фактори.

Згідно з отриманими результатами ми можемо стверджувати, що зернові та технічні культури достатньо добре класифікуються на даних знімання супутником Landsat-8 OLI із просторовою роздільною здатністю 30 м. Подальше використання даних з КА кращої роздільної здатності підвищить точність класифікації земного покриву та сільськогосподарських культур.

Слід зазначити, що на території країн Європейського Союзу розпочато та продовжується активне застосування супутникових технологій в управлінні сільськогосподарськими земельними ресурсами. Так, в червні 2015 року Європейське космічне агентство (ESA) успішно запустило та вивело на орбіту космічний апарат SENTINEL-2A. У 2016 році заплановано запуск ідентичного до SENTINEL-2A КА SENTINEL-2B. Технічні характеристики супутників серії SENTINEL-2 розроблялися із врахуванням стратегій розвитку ЄС в аграрному напрямку. Місія SENTINEL-2 націлена на забезпечення даними у виконанні програм «Підтримка сільськогосподарських культур і місій з оцінки поставок харчових продуктів» (Support to Crop and Food Supply Assessment Missions (CFSAM)), «Глобальний моніторинг для довкілля та безпеки» (Global Monitoring for Environment and Security (GMES)), підпрограми GMES з моніторингу лісів GSE FM (GMES Service Element on Forest Monitoring), сервісу Коперникусу з надання інформації про земельний покрив (Copernicus Land Monitoring Services), а також виконання запитів користувачів з картування сходів, оцінки посівної площі культур, визначення кількості земель, що обробляються, оцінки врожайності на національному рівні, суб-національному та локальних рівнях та ін. запитів [11].

Зважаючи на технічні характеристики супутників SENTINEL-2, що мають достатню для завдань агросектору України просторову роздільну здатність в пікселі (10 м), можливість знімання в 13 спектральних каналах, зокрема в B,G,R,NIR, велику ширину полоси захвату (290 км) та довгу тривалість місії (7,25 років із очікуваним терміном продовження до 12 років) [12], дані із супутників SENTINEL будуть незамінними в управлінні землями сільськогосподарського призначення у вирішенні завдань в інтересах агровиробництва та інвентаризації земель, здійснення класифікації типів земного покриву та рослинності, контролю за розвитком сільськогосподарських культур протягом вегетаційних періодів, оцінки впливу негативних процесів на розвиток рослинності, контролю посух, оцінки врожаю та ін. завдань.

Крім того, ширина смуги огляду 290 км дозволяє припустити, що можливо покрити територію України за умови безхмарного періоду за 5-6 днів зйомок. Але найбільшою перевагою у вирішенні завдань країни з управління земельним покривом є безкоштовний доступ до даних, що робить супутникові дані серії SENTINEL безпрецедентно

Таблиця 2.
РЕЗУЛЬТАТИ ПОРІВНЯННЯ ПЛОЩ ЗА ДАНИМИ ЗЙОМКИ СУПУТНИКОМ LANDSAT-8 ІЗ СТАТИСТИЧНОЮ ІНФОРМАЦІЄЮ

Класифікація культур згідно [9]	Класифікація культур згідно ЦАКДЗ	Посівні площі за даними супутникової інформації, га	Посівні площі за даними статистичної інформації, га	Різниця, га	Різниця, %
Вся посівна площа району	вся територія району, крім водних об'єктів, урботериторій, поселень, присадибних ділянок, городів, трав'янистої рослинності, лугів, пасовищ, чагарників	42094,08	46400	4305,92	9,28
Зернові культури	озима пшениця, яре жито, кукурудза	24440,22	25100	659,78	2,63
Технічні культури	озимий ріпак, соняшник, соя, цукровий буряк	12624,39	11800	-824,39	6,99
Картопля та овочі	присадибні ділянки, городи	5029,47	6400	1370,53	21,41

вигідними та незамінними у використанні їх в дослідженнях земельного покриву та управлінні земельними ресурсами.

Результати роботи представленого в цій статті проекту свідчать, що українські фахівці мають необхідний досвід в обробці та аналізі спектральної інформації, отриманої дистанційними методами. Крім того, що дані дистанційного зондування є джерелом інформації про рослинний покрив, вони ще й є інформативними при вивченні екологічного та агро-хімічного стану ґрунту. Це дає можливість вдосконалення існуючих методів моніторингу за станом ґрунтів з метою їх збереження та підвищення родючості. Але без цілеспрямованого, системного використання супутникових даних, за відсутності структурованої методології, нормативної бази, системи підготовки кадрів, Держава не зможе скористатися всіма перевагами використання даних супутникового походження, зокрема, безкоштовних. Уже сьогодні потрібно переходити на новий рівень моніторингу земельних ресурсів, ґрунтів, посівів сільськогосподарських культур та лісових насаджень засобами дистанційного зондування Землі.

Від імені Центру ДЗК та ЦАКДЗ висловлюємо щиру подяку компанії BlackBridge (Німеччина) та її менеджерам — Єлені Шрайбер, Олені Аш, дру Рене Грізбаху, а також віце-президенту Сервісу супутникових зображень містеру Мун-Гью Кіму та директору Сервісів зображень містеру Вукхьюн-Чої компанії Satrec Initiative (Республіка Корея). Без Вашого внеску та внеску Ваших компаній, не було б можливим виконання цього проекту та написання статті.

Література

1. Лялько В.І., Сахацький О.І., Жолобак Г.М., Апостолов О.А., Сидорова Н.П. Застосування супутникових даних для моніторингу посівів основних сільгоспкультур та їх вологозабезпечення (на прикладі окремих областей України) // Комплексе управління, безпека і робастність / за ред. А.Г. Загоронього, Ю.М. Єрмольєва, В.Л. Богданова. — Київ, 2014. — С. 95-113.
2. Landsat Processing Details. U.S. Department of the Interior. U.S. Geological Survey. URL: http://landsat.usgs.gov [Електронний ресурс] — Режим доступу: http://landsat.usgs.gov/Landsat_Processing_Details.php
3. Satellite Imagery Product Specifications. Version 5.0. October 2013, 51p [Електронний ресурс] — Режим доступу: http://blackbridge.com/rapideye/upload/RE_Product_Specifications_ENG.pdf
4. Kompsat-3 Image Data Manual, v1.01/ 2013.08. Korea Aerospace Research Institute, Satrec Initiative Co., Ltd, 51p [Електронний ресурс] — Режим доступу: http://kompsat.satreci.com/ daumeditor/upload/image/ 1378183985.pdf
5. Rouse J. W. Monitoring the vernal advancements and retrogradation of natural vegetation. / Rouse J. W., Haas R. H., Schell J. A., Deering D. W., Harlan J. C. // NASA/GSFC final report: Greenbelt, MD, USA. — 1974. — P. 120.
6. Lim C., Kafatos M. and Megonigal P., et al. Correlation between atmospheric CO2 concentration and vegetation greenness in North America: CO2 fertilization effect. // Climate Research 28, — 2004, — 11-22pp.
7. Rouse J.W., R.H. Haas, J.A. Schell and D.W.Deering, 1973: Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS, Third ERTS Symposium, NASA SP-351 I, 309-317 pp.
8. Gilmanov T.G., Tieszen L.L., Wylie B.K., Flanagan L.B., Frank A.B., Haferkamp M.R., Meyers T.P., Morgan J.A., Integration of CO2 flux and remotely sensed data for primary production and ecosystem respiration analyses in the Northern Great Plains: potential for quantitative spatial extrapolation. // Global Ecology and Biogeography. — 2005. — №14. — 271-292pp.
9. Головне управління статистики у Київській області. Напис з екрану «Геополітична характеристика районів Київської області. Фастівський район». [Електрнний ресурс] — Режим доступу: http://kievobl.ukrstat.gov.ua/content/p.php3?c=481&lang=1
10. Номенклатура продукції сільського господарства (НПСГ). Державна служба статистики України. Київ, 2014. — 67ст. [Електронний ресурс] — Режим доступу: http://www.ukrstat.gov.ua/klasf/klasif/npsg.zip
11. GMES-Sentinel-2 Mission Requirements Document.// ESA Sentinel-2 Team. Issue 2.1. — 2010. — 42p. [Електронний ресурс] — Режим доступу: http://esamultimedia.esa.int/docs/GMES/Sentinel-2_MRD.pdf
12. ESA, Sentinel online. Spatial and Spectral Resolutions. [Електронний ресурс] — Режим доступу: https://sentinel. esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-2/instrument-payload/resolution-and-swath