

КУССУЛЬ

Наталія Миколаївна –
доктор технічних наук, професор,
заступник директора Інституту
космічних досліджень НАН
України та ДКА України

ШЕЛЕСТОВ

Андрій Юрійович –
доктор технічних наук, професор,
завідувач кафедри комп'ютерних
наук факультету інформаційних
технологій Національного
університету біоресурсів та
природокористування України

КОЛОТІЙ

Андрій Всеволодович –
кандидат технічних наук,
старший науковий співробітник
Інституту космічних досліджень
НАН України та ДКА України

ЛАВРЕНЮК

Микола Сергійович –
інженер-програміст
Інституту космічних досліджень
НАН України та ДКА України

БУТКО

Ігор Миколайович –
кандидат технічних наук,
начальник Центру організації
застосування космічних засобів
та засобів спеціального контролю
Національного центру управління
та випробувань космічних засобів
Державного космічного агентства
України

СУПУТНИКОВИЙ АГРОМОНІТОРИНГ В УКРАЇНІ

Перспективи участі в європейських програмах

У контексті міжнародної співпраці та перспектив участі України в європейських програмах проаналізовано сучасний стан досліджень у сфері прикладних проблем дослідження Землі. З метою вирішення проблеми обробки великих об'ємів геопросторових та супутникових даних українські науковці розробили нові методи, на основі яких було створено високоефективні інформаційні технології глибинного навчання та аналізу даних, що сьогодні використовуються в багатьох міжнародних проектах. За результатами міжнародного симпозіуму з питань супутникового агромоніторингу Joint Workshop on Information Needs in Crop Monitoring (22–23 жовтня 2015 р., Київ) відкриваються нові перспективи євроінтеграції української науки у сфері дослідження Землі та прикладних сервісів супутникового моніторингу.

Вступ

22–23 жовтня 2015 р. у Києві відбувся міжнародний симпозіум з питань супутникового агромоніторингу *Joint Workshop on Information Needs in Crop Monitoring*, присвячений визначенню інформаційних потреб України щодо моніторингу посівів. Організаторами та спонсорами заходу стали Об'єднаний дослідницький центр Єврокомісії (JRC EC) і Комітет ООН з мирного використання космосу (UNOOSA). Цей захід став важливою віхою на шляху розвитку наукової співпраці українських фахівців з провідними європейськими науковими установами у сфері обробки великих об'ємів супутникових даних. Розроблені українськими науковцями методи дали змогу створити високоефективні інформаційні технології глибинного навчання та аналізу даних, які зараз широко застосовують не лише в Україні, а й у багатьох міжнародних проектах. Набутий досвід і тісна співпраця з європейськими партнерами відкривають нові перспективи євроінтеграції української науки у сфері дослідження Землі та прикладних сервісів супутникового моніторингу.

Проблема обробки великих об'ємів даних супутникового моніторингу

Симпозіум став майданчиком для зустрічі офіційних представників органів державної влади України з міжнародними та вітчизняними експертами у сфері супутникового агромоніторингу для визначення першочергових потреб, доступних технічних рішень та можливих джерел фінансування. Симпозіум було проведено за підтримки європейської програми спостереження Землі *Copernicus* та програми комітету GEO (*Group on Earth Observations*) з глобального агромоніторингу GEOGLAM.

З боку Європи у симпозіумі взяли участь представники Єврокомісії в Україні, JRC EC, UNOOSA, Європейського космічного агентства, програми GEOGLAM, наукових центрів та інститутів Європи, експерти в сфері супутникового моніторингу країн Східного партнерства. Учасниками від України були представники Державного космічного агентства України, Міністерства аграрної політики та продовольства України, Ради національної безпеки і оборони України, Державної служби України з питань геодезії, картографії та кадастру, Укра-

їнського гідрометеорологічного центру, Державної установи «Інститут охорони ґрунтів України», двох українських центрів Світової системи даних (WDS), інститутів Національної академії наук України та Національної академії аграрних наук України, провідних вищих навчальних закладів та приватних компаній.

Бенджамін Коец (Benjamin Koetz) з Європейського космічного агентства, який відповідає за розвиток систем обробки супутникових даних у сфері агромоніторингу в програмі *Copernicus*, у доповіді «*Copernicus Space Segment for Agriculture*» розповів про можливість європейських супутників для агромоніторингу. Зокрема він зазначив, що сучасні супутники надають великі об'єми даних і це актуалізує так звану проблему *Big Data*. Для її розв'язання використовують сучасні методи науки про дані (*Data Science*) та машинного навчання (*Machine Learning*). Доповідач окремо підкреслив значний внесок українських науковців Інституту космічних досліджень НАН України та ДКА України у розвиток і реалізацію методів машинного навчання в проєктах європейської рамкової програми FP7 — *SIGMA*, *ImagineS* та *Sentinel-2 for Agriculture*.



Учасники симпозіуму *Joint Workshop on Information Needs in Crop Monitoring*. Київ. 2015 р.

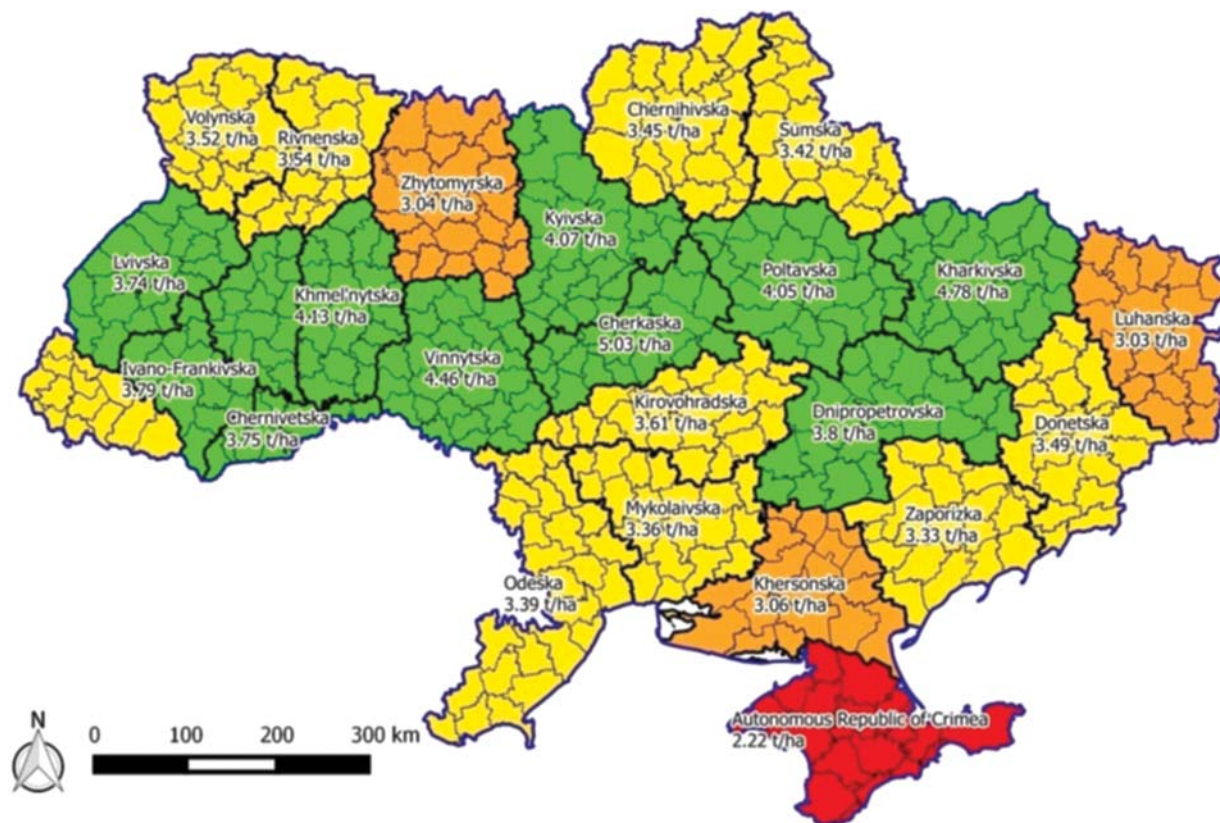


Рис. 1. Прогноз врожайності озимої пшениці за супутниковими даними на 2015 р. для окремих областей України

Співголова програми глобального агромоніторингу GEOGLAM Олів'є Лео (Olivier Leo) розповів про основні завдання програми та участь України в її розгортанні. Він відзначив великий досвід успішної співпраці європейських наукових установ з українськими фахівцями з Інституту космічних досліджень [1–3].

Методи глибинного машинного навчання для операційного супутникового моніторингу

Інститут космічних досліджень НАН України та ДКА України має значні досягнення у сфері розвитку методів геопросторового аналізу, машинного навчання та обробки великих об'ємів супутникових даних [4–16]. Доробок Інституту високо оцінено на міжнародному рівні і валідовано не лише для України, а й для ін-

ших регіонів світу (розроблені методи визнано найкращими в межах мережі полігонів проекту JECAM (*Joint Experiment for Crop Assessment and Monitoring*)) [17].

На основі нейромережових методів машинного навчання, розроблених спеціально для обробки великих масивів даних, а саме — ансамблевих методів глибинного (Deep Learning) та активного машинного навчання (Active Machine Learning), в Інституті створено автоматичні інформаційні технології розпізнавання типів земної поверхні за часовими рядами супутникових даних, аналізу стану посівів та прогнозування врожайності. Як приклад можна навести технологію прогнозування врожайності озимої пшениці за супутниковими даними на рівні областей (рис. 1), районів та окремих господарств України [18–20]. Її результати використовують державні органи моніторингу України, зокрема відділ агрометеорології Укр-

гідрометцентру, а також програма ООН з використання супутникових даних для моніторингу надзвичайних ситуацій UN-SPIDER як найкращу технологію. Оскільки Україна є одним із провідних виробників та експортерів сільгосппродукції у світі, об'єктивний та оперативний моніторинг стану посівів і прогнози врожайності мають важливе значення не лише для нашої країни, а й для міжнародної спільноти в межах програми глобального аналізу ринків AMIS (*Agricultural Market Information System*) та програми глобального агромоніторингу GEOGLAM.

Іншим важливим прикладом є автоматизована інтелектуальна технологія оцінювання посівних площ на основі часових рядів супутникових даних [21]. Цю технологію також валідовано і для України, і для тестових полігонів мережі JESAM по всьому світу в межах масштабного експерименту, в якому беруть участь Китай, Росія, Бразилія, Аргентина і Україна. Українська технологія серед інших розроблених провідними світовими експертами технологій показала найкращі результати для 4 із 5 тестових полігонів (винятком став полігон у Китаї).

Створена технологія дозволяє контролювати землекористування, оцінювати ризики та збитки, спричинені несприятливими метеорологічними явищами, аналізувати зміни наземного покриву України та сприяти виконанню завдань екологічного моніторингу. Наприклад, за допомогою цієї технології можна оперативно виявляти порушення сівозмін (рис. 2), що важливо, оскільки недбале використання земель спричинює їх деградацію та інші екологічні проблеми.

Розвиток цих методів українські науковці здійснювали в контексті виконання міжнародних проектів *Analysis of Climate Change and Food Security* (CRDF Global), «Розробка Grid-технологій інтеграції даних різної природи» (УНТЦ), *Stimulating Innovation for Global Monitoring of Agriculture — SIGMA* (FP7), проектів Об'єднаного дослідницького центру Єврокомісії (JRC), зокрема *Crop Area Estimation with Satellite Images in Ukraine*, та ін.

Перспективи євроінтеграції України у сфері супутникового моніторингу та дослідження Землі

Європейські партнери з JRC відзначають наявність в Україні кваліфікованих фахівців, спроможних розробляти новітні методи обробки сучасних супутникових даних для завдань агромоніторингу. Разом з тим фахівці JRC підкреслюють унікальність сільського господарства України. Саме тому Європейське космічне агентство визначило Україну пілотним регіоном для відпрацювання операційних технологій агромоніторингу та переходу від стадії наукових досліджень до інновацій і операційного використання.

За результатами симпозіуму вирішено започаткувати пілотний проект супутникового агромоніторингу України в межах проекту *Sentinel-2 for Agriculture* програми *Horizon 2020* за участю Інституту космічних досліджень НАН України та ДКА України (науковий керівник — Н.М. Куцусь), а також продовжити прикладні наукові дослідження наукових установ України в межах програми *Copernicus*, що сприятиме «вертикальній інтеграції супутникового агро-

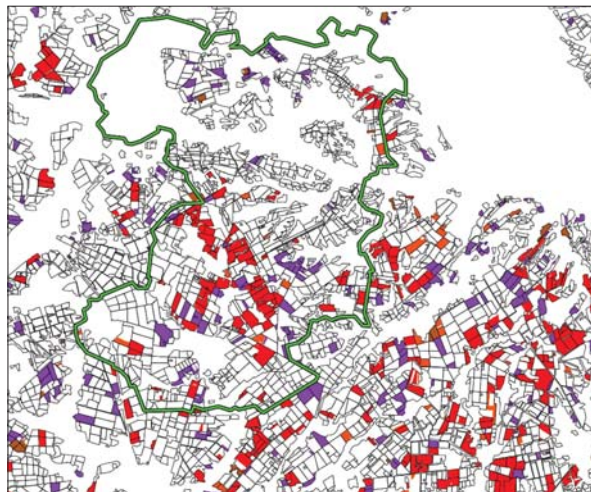


Рис. 2. Карта порушення сівозмін у Васильківському районі Київської області на 2015 р.; цифри наведено у відсотках до посівних площ конкретних культур в області: озима пшениця — 29%, озимий ріпак — 12,7%, кукурудза — 48,8%, соняшник — 18%

моніторингу на всіх рівнях — від фермерського господарства до державних установ, які здійснюють функції контролю».

Ця діяльність відкриває нові перспективи для європейської інтеграції нашої держави та посилення ролі України в глобальних міжнародних програмах, насамперед у програмах комітету спостереження Землі GEO та європейської програми *Copernicus*. Яскравим прикладом таких процесів є участь України в проєкті ERA-PLANET (*The European Network for Observing Our Changing Planet*), спрямованому на створення спільного Європейського дослідницького простору у сфері спостереження Землі. Цей проєкт схвалено Єврокомісією в 2015 р. на період 2016—2020 рр. з фінансуванням у розмірі 11 млн євро для консорціуму з близько 40 різних установ. Схема фінансування передбачає також пайову участь кожного члена консорціуму. Україну в цьому проєкті представляє Інститут космічних досліджень НАН України та ДКА України.

Цей унікальний не тільки для України, а й для Європи проєкт передбачає синхронну організацію в країнах-учасниках міжнародних конкурсів за тематикою різних прикладних аспектів спостереження Землі, зокрема створення «розумних міст», ефективного використання природних ресурсів, харчової безпеки, відновлюваних джерел енергії тощо. Результатом має стати створення єдиного європейського простору дослідження Землі.

Як учасник проєкту ERA-PLANET Україна має шанс реально приєднатися до європейської наукової спільноти і започаткувати проведення конкурсів наукових проєктів за правилами Євросоюзу. Для цього нам необхідно гармонізувати механізми координації науки з європейськими країнами. Національна академія наук України вже здійснює конкретні кроки в цьому напрямі. Зокрема, на засіданні Президії НАН України 21 жовтня 2015 р., присвяченому участі Академії в програмі FP7 та перспек-

тивам участі в програмі Horizon 2020 (див. *Вісник НАН України*. 2015. № 12), було прийнято рішення про «необхідність використати всі можливості для започаткування спеціальних конкурсів у рамках програми Horizon 2020 і ліквідувати перешкоди нормативного та організаційного характеру, які ускладнюють інтеграцію українських учених до європейського дослідницького простору». Це сприятиме інтеграції України до спільного європейського наукового простору, зокрема в межах проєкту ERA-PLANET.

Наступним конкретним кроком має стати створення Національного комітету програми GEO, що дозволить впорядкувати співпрацю українських науковців з міжнародними програмами і підніме її на новий, державний рівень.

Висновки

Отже, сьогодні Україна має науковий доробок у сфері глибинного машинного навчання та обробки великих масивів геопросторових даних. Створені методи і моделі доведено до конкретних інформаційних технологій, які визнано провідними європейськими науковими установами. Конкурентоспроможність наукових результатів українських фахівців відкриває нові перспективи євроінтеграції України у сфері прикладних проблем дослідження Землі. Прийняті останнім часом надзвичайно важливі рішення Президії НАН України є реальними кроками до євроінтеграції української науки, а також зближення української космічної галузі з Європейським космічним агентством, угода про асоціацію з яким зараз перебуває в процесі підготовки.

Дуже важливо, що рушієм євроінтеграційних процесів є високотехнологічні наукові результати в сучасних комп'ютерних науках та їх застосуваннях, а космічна наука стала одним із флагманів європейської інтеграції України.

REFERENCES

1. Gallego J., Kussul N., Skakun S., Kravchenko O., Shelestov A., Kussul O. Efficiency assessment of using satellite data for crop area estimation in Ukraine. *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf.* 2014. **29**: 22.
2. Kussul N., Shelestov A., Skakun S. Technologies for satellite data processing and management within international disaster monitoring projects. In: *Grid and Cloud Database Management*. S. Fiore, G. Aloisio (Eds.). (Springer, 2011). P. 279.
3. Kussul N., Shelestov A., Skakun S. *Intelligent computations for flood monitoring*. (FOI ITHEA, 2008).
4. Kussul N., Shelestov A., Skakun S., Basarab R., Yailymov B., Lavreniuk M., Kolotii A., Yashchuk D. *Space Science and Technology*. 2015. **21**(3): 31.
[Куссуль Н.М., Шелестов А.Ю., Скакун С.В., Басараб Р.М., Яйлимов Б.Я., Лавренюк М.С., Колотій А.В., Ящук Д.Ю. Ретроспективна регіональна карта земного покриття для України: методологія побудови та аналіз результатів. *Космічна наука і технологія*. 2015. Т. 21, № 3. С. 31–39].
5. Shelestov A., Kravchenko A., Skakun S., Voloshin S., Kussul N. Geospatial information system for agricultural monitoring. *Cybernetics and Systems Analysis*. 2013. **49**(1): 124.
6. Kussul N., Shelestov A., Basarab R., Skakun S., Kussul O., Lavreniuk M. Geospatial intelligence and data fusion techniques for sustainable development problems. In: *Integration, Harmonization and Knowledge Transfer*. Proc. 11th Int. Conf. ICTERI 2015 (14–16 May 2015, Lviv, Ukraine). P. 196–203.
7. Kussul N., Shelestov A. *Grid-systems for Earth studies. Architecture of model and technology*. (Kyiv: Naukova Dumka, 2008).
[Куссуль Н.Н., Шелестов А.Ю. *Grid-системы для задач исследования Земли. Архитектура, модели и технологии*. К.: Наук. думка, 2008].
8. Azarskov V., Blokhin L., Zhytetskiy L., Kussul N. *Robust methods for assessment, identification and adaptive management*. (Kyiv: NAU, 2004).
[Азарсков В.Н., Блохин Л.Н., Житецкий Л.С., Куссуль Н.Н. *Робастные методы оценивания, идентификации и адаптивного управления*. К.: НАУ, 2004].
9. Kussul N., Shelestov A., Skakun S., Li G., Kussul O., Xie J. Service-oriented infrastructure for flood mapping using optical and SAR satellite data. *Int. J. Digital Earth*. 2014. **7**(10): 829.
10. Kussul N., Shelestov A., Skakun S., Kravchenko O. *Data assimilation technique for flood monitoring and prediction*. (FOI ITHEA, 2008).
11. Kussul N., Skakun S., Shelestov A., Lavreniuk M., Yailymov B., Kussul O. Regional scale crop mapping using multi-temporal satellite imagery. In: *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences*. 2015. P. 45–52.
12. Skakun S., Kussul N., Shelestov A., Kussul O. The use of satellite data for agriculture drought risk quantification in Ukraine. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*. 2015. **6**: 1.
13. Kussul N., Skakun S., Shelestov A. *Analysis of emergency risks using the satellite data. Models and technologies*. (Kyiv: Naukova Dumka, 2014).
[Куссуль Н.Н., Скакун С.В., Шелестов А.Ю. *Анализ рисков чрезвычайных ситуаций на основе спутниковых данных. Модели и технологии*. К.: Наук. думка, 2014].
14. Kussul N., Skakun S., Shelestov A. *Geospatial analysis of risks of natural disasters*. (Kyiv: Naukova Dumka, 2014).
[Куссуль Н.М., Скакун С.В., Шелестов А.Ю. *Геопросторовий аналіз ризиків стихійних лих*. К.: Наук. думка, 2014].
15. Kussul N., Skakun S., Shelestov A., Kussul O., Yailymov B. Resilience Aspects in the Sensor Web Infrastructure for Natural Disaster Monitoring and Risk Assessment Based on Earth Observation Data. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*. 2014. **7**(9): 3826.
16. Skakun S., Kussul N., Shelestov A., Kussul O. Flood Hazard and Flood Risk Assessment Using a Time Series of Satellite Images: A Case Study in Namibia. *Risk Analysis*. 2014. **34**(8): 1521.
17. Kussul N., Skakun S., Shelestov A., Kussul O. The use of satellite SAR imagery to crop classification in Ukraine within JECAM project. In: *Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS-2014)*. IEEE International. P. 1497.
18. Kolotii A., Kussul N., Shelestov A., Skakun S., Yailymov B., Basarab R., Lavreniuk M., Oliinyk T., Ostapenko V. Comparison of biophysical and satellite predictors for wheat yield forecasting in Ukraine. In: *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences*. 2015. P. 39.
19. Kussul N., Kolotii A., Skakun S., Shelestov A., Kussul O., Oliinyk T. Efficiency estimation of different satellite data usage for winter wheat yield forecasting in Ukraine. In: *Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS-2014)*. IEEE International. P. 5080.

20. Skakun S., Kussul N., Kussul O., Shelestov A. Quantitative estimation of drought risk in Ukraine using satellite data. In: *Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS-2014)*. IEEE International. P. 5091.
21. Skakun S., Kussul N., Shelestov A., Lavreniuk M., Kussul O. Efficiency Assessment of Multitemporal C-Band Radar-sat-2 Intensity and Landsat-8 Surface Reflectance Satellite Imagery for Crop Classification in Ukraine. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*. 2015.

Н.Н. Куссуль¹, А.Ю. Шелестов², А.В. Колотий¹, Н.С. Лаврентюк¹, И.Н. Бутко³

¹ Інститут космічних досліджень НАН України і ГКА України (Київ)

² Національний університет біоресурсів і природопольовання України (Київ)

³ Національний центр управління і випробувань космічних засобів ГКА України (Київ)

СПУТНИКОВИЙ АГРОМОНІТОРИНГ В УКРАЇНІ

Перспективи участя в європейських програмах

В контексті міжнародного співробітництва і перспектив участя України в європейських програмах проаналізовано сучасне стан досліджень в сфері прикладних проблем дослідження Землі. С метою рішення проблеми великих об'ємів геопросторових і супутникових даних українські учені розробили нові методи, на основі яких були створені високоєфективні інформаційні технології глибокого навчання і аналізу даних, використовувані в багатьох міжнародних проєктах. По результатам міжнародного симпозиуму по питанням супутникового агромоніторингу Joint Workshop on Information Needs in Crop Monitoring (22–23 жовтня 2015 г., Київ) відкриваються нові перспективи євроінтеграції української науки в сфері дослідження Землі і прикладних сервісів супутникового моніторингу.

N. Kussul¹, A. Shelestov², A. Kolotii¹, M. Lavreniuk¹, I. Butko³

¹ Space Research Institute of National Academy of Sciences of Ukraine and State Space Agency of Ukraine (Kyiv)

² National University of life and environmental sciences of Ukraine (Kyiv)

³ National Space facilities control and test Centre of State Space Agency of Ukraine (Kyiv)

SATELLITE AGROMONITORING IN UKRAINE

Prospects for participation in European programs

In this article, the current state of researches held in Ukraine in the field of applied problems of Earth studies is analyzed with orientation to international cooperation and participation in European programs outlooks. The main scientific problem is the large amount of geospatial and satellite data, for processing of which, modern methods and technologies of deep machine learning need to be developed. Methods originated by Ukrainian scientists let to create highly effective information technologies of deep learning and data analysis that have found an application both in Ukraine and in international projects. Current achievements supported by powerful cooperation with European partners open new outlooks for European integration of Ukrainian science in the field of Earth studies and applied services of satellite monitoring.