



#### КУССУЛЬ

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

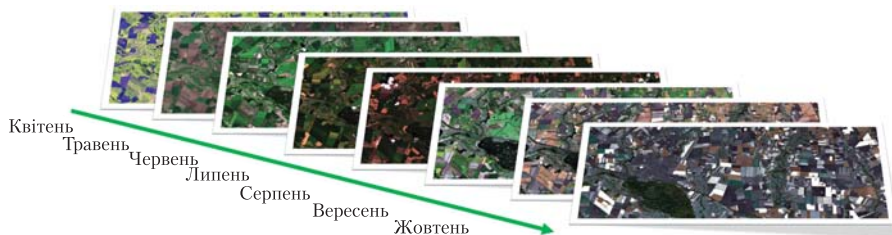
## МОНІТОРИНГ СІЛЬСЬКО-ГОСПОДАРСЬКИХ ЗЕМЕЛЬ В УКРАЇНІ: МІФ ЧИ РЕАЛЬНІСТЬ

*Україна стоїть на порозі запровадження ринку землі, відкриття якого заплановане на 2020 р. Для забезпечення прозорості та надійності цього процесу потрібна достовірна інформація про реальне землекористування, його історію, стан сільськогосподарських культур у кожному сезоні та інші показники, які істотно впливають на ринкову вартість землі. Сьогодні в Україні немає відкритої системи з інформацією про реальне землекористування та власників земель, є лише державна кадастрова система, що містить певні помилки й неточності. Тому на часі створення правових, технічних і законодавчих передумов для відкриття ринку землі та розроблення геопросторової інформаційної системи реального землекористування в Україні. Саме на вирішення цих питань спрямована програма Світового банку «Підтримка прозорого землекористування в Україні», яка виконується за фінансової підтримки ЄС.*

**Ключові слова:** прозоре землекористування, Світовий банк, супутниковий моніторинг землі, великі об'єми даних, аналіз даних.

За останні п'ять років сільське господарство України стало одним з головних чинників зростання економіки України. Сьогодні переважна більшість експортних доходів припадає на аграрний сектор. Активізація сільськогосподарського виробництва сприяє також розвитку інших, пов'язаних з ним галузей, поліпшуючи водночас міжнародну репутацію країни. Однак, якщо порівнювати обсяг валової продукції у вітчизняному аграрному секторі з показниками країн із географічно подібною територією, стає очевидним, що Україна відстає від них. Так, в Україні валовий обсяг продукції рослинництва у 2018 р. становив 6,4 млрд євро, тоді як в Іспанії — 25,7 млрд євро, у Франції — 42,4 млрд євро. Така сама ситуація спостерігається і в галузі тваринництва. При цьому Україна, на відміну від Франції чи Іспанії, може з повним правом пишатися найродючішими землями, оскільки є третьою за кількістю чорноземів у світі.

Таке помітне відставання України передусім пов'язане з низьким рівнем застосування як приватними підприємствами,



**Рис. 1.** Часовий ряд супутникових даних Sentinel-1,2

так і державними структурами сучасних технологій, які дозволяють більш ефективно використовувати сільськогосподарський потенціал. Як приклад можна навести застосування супутникових технологій, за допомогою яких отримують повну картину того, що насправді відбувається у сільськогосподарському виробництві та землекористуванні, визначають, де, коли і які саме культури слід висаджувати, яким господарствам потрібна фінансова підтримка, а яким ні.

У рамках програми Світового банку «Підтримка прозорого землекористування в Україні» співробітники комерційної компанії EOS Data Analytics разом з науковцями Інституту космічних досліджень НАН України та ДКА України розробляють технології дистанційного зондування Землі та супутникового моніторингу реального використання земель в Україні [1]. Це п'ятирічний проект, який розпочато у 2018 р. для 3 пілотних областей України — Київської, Миколаївської і Львівської. У проекті використано відкриті дані супутників Sentinel-1 і Sentinel-2 [2–5]. І вже перші отримані результати виявилися дуже перспективними [6]. Точність класифікації основних сільськогосподарських культур для пілотних областей становить більш як 90%, що є найсучаснішим досягненням у галузі технологій машинного навчання.

У 2019 р. супутниковий моніторинг поширено на всю територію країни [3], і до 2023 р. має бути розроблено оперативну технологію супутникового моніторингу та впроваджено її в державних установах. У рамках виконання проекту ми аналізуємо можливість застосування хмарної технології Google Earth Engine для моніторингу використання земель

[7] та аналізуємо стадії посівів у всьому світі, а також створюємо карти землекористування. Платформа має дати можливість здійснювати моніторинг сівозміни, аналізувати ефективність зрошення, прогнозувати врожайність сільськогосподарських культур і оцінювати реальну ринкову вартість землі з огляду на родючість ґрунту та історію використання земель.

Для підвищення точності прогнозування використовуватиметься більше доступних джерел даних, зокрема супутникові знімки Landsat-8 та MODIS. Аналіз здійснюватиметься із застосуванням інноваційних хмарних супутникових технологій обробки інформації та моделей штучного інтелекту, призначених для побудови карт класифікацій.

Традиційно навчання моделей проводять за допомогою наземних даних, зібраних вздовж доріг [8]. У 2019 р. наземні дані збирали з усієї території України в два етапи: у квітні — для озимих культур, у червні — для літніх культур. Маршрути будували з урахуванням різноманітності культур, кліматичної зони та наявності доріг. Збір наземних даних здійснювали за протоколом «Рекомендації JESAM щодо визначення земного покриття, різновидів культур та збору наземних даних». Минулоріч до виконання проекту ми залучили також фермерів, які надали нам дані про культури, що вирощують на своїх полях.

У системах моніторингу розвинених країн, зокрема ЄС і США, таку інформацію щодо врожаю збирають регулярно, в Україні (в масштабах країни) це робиться вперше. У майбутньому ми плануємо розширити співпрацю з фермерами та оперативно використовувати їх інформацію. Чим більше даних ми матимемо,

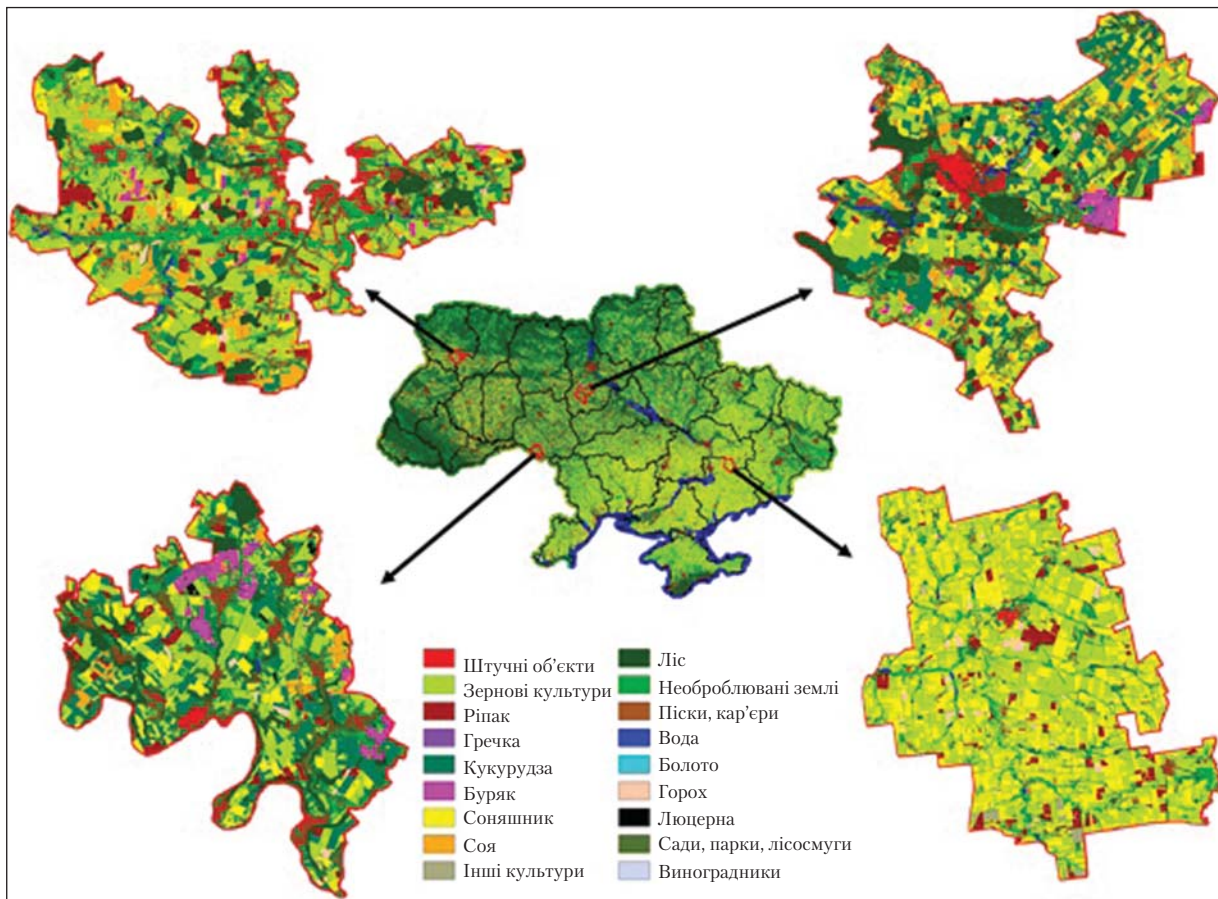


Рис. 2. Карта класифікації земного покриття по території України за 2019 р.

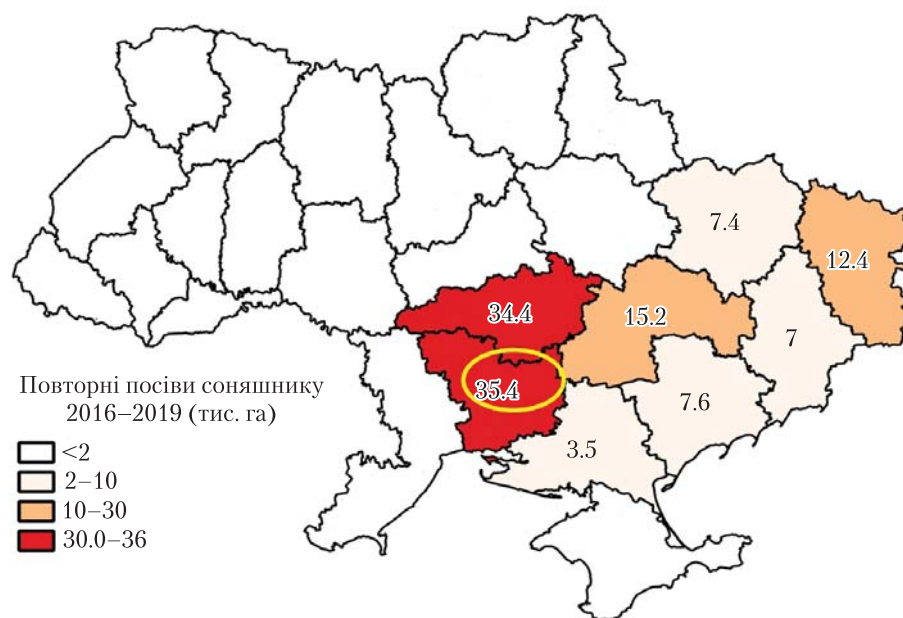
тим точнішими будуть результати, а саме карта класифікації.

Методологія побудови карт класифікації ґрунтується на використанні часових рядів супутникової інформації, оскільки визначити тип культури за одним-двома зображеннями можна лише в окремих випадках. Наприклад, озимий ріпак добре видно під час його цвітіння, однак здебільшого розрізнити культури на одному супутниковому знімку майже неможливо. Тому й використовують саме часові ряди супутникової інформації. Інакше кажучи, спостереження за рослинами відбувається впродовж усього вегетаційного сезону і лише наприкінці його з максимальною точністю можна сказати, яка це була культура. Всі літні культури (соняшник, соя, кукурудза, бу-

ряк, гречка) майже не відрізняються одна від одної. Вирішити цю проблему допомагають радарні супутникові дані Sentinel-1, які використовують у поєднанні з оптичними даними Sentinel-2 (рис. 1).

Результатом виконання проекту в 2019 р. стала карта посівів сільськогосподарських культур для всієї території України (рис. 2), загальна точність якої на тестовій незалежній вибірці перевищує 90%. Продукти аналізу геопросторових даних через публічну кадастрову карту України\* безоплатно передаються дер-

\* Публічна кадастрова карта України. Шар «Класифікація посівів 2019» створено в межах проекту Світового банку «Підтримка прозорого землекористування в Україні». <https://newmap.land.gov.ua/>



**Рис. 3.** Відстежування повторних посівів соняшнику на території України протягом 4 років поспіль (2016–2019 рр.)

жавним і місцевим органам влади, а також територіальним громадам.

У результаті аналізу даних, отриманих для посівних площ, можна зробити висновок, що в Україні найбільше сільськогосподарських земель засівають зерновими культурами (41%), соняшником (24%), кукурудзою (19%) та соєю (7%). На інші культури припадає менш ніж 10% сільськогосподарських земель.

Проект Світового банку і, зокрема, супутникові технології мають на меті допомогти сільськогосподарським товаровиробникам проаналізувати, що відбувається на їхніх ділянках, заздалегідь передбачити врожайність і зрозуміти, як зміни клімату можуть вплинути на прибутковість їхнього бізнесу. Крім того, це дає змогу уряду виявити «неоподатковані» культури, порушення сівозмін і вчасно захистити землю від руйнівного використання. У межах проекту, зокрема, було проаналізовано кадастрові дані, що стосуються незареєстрованих земельних ділянок. За допомогою карти класифікації визначено, що загальна площа незареєстрованих земель, на яких здійснюється сільськогосподарська діяльність, становить 3,9 млн га. У деяких сільських радах майже всі землі не зареєстровані в Держгеокадастрі, про-

те на них ведуть сільське господарство. Найбільше незареєстрованих земель у Донецькій та Луганській областях — понад 550 тис. га, в Одеській та Миколаївській областях — більш як 350 тис. га, у Херсонській, Запорізькій та Харківській областях — більш як 250 тис. га. Якщо порівнювати площі за мажоритарними культурами, можна помітити певну закономірність: ті культури, які на карті класифікації мають більшу площу, ніж задекларовано в статистичній інформації, здебільшого вирощують саме на незареєстрованих землях. Проведено також розрахунки щодо вартості продукції, яка могла б бути вироблена на незареєстрованих землях. Показано, що з них можна отримати продукції на суму близько 88,5 млрд грн. Розрахунки проводили з урахуванням середньостатистичної врожайності та середніх ринкових цін на ту чи іншу культуру.

Використання супутникової інформації дозволяє уряду здійснювати щотижневий моніторинг сільськогосподарських культур, порівнювати стан цих культур із середньорічною тенденцією та з минулими роками, оцінювати площі посівів за якісними і кількісними показниками та кластеризувати поля за умовами розвитку сільськогосподарських культур.

Для фермерів супутникова інформація — це інструмент підтримки для прийняття рішень про те, що робити із землею, яку вони взяли в оренду, що саме і коли потрібно садити. Потенційні покупці землі можуть оцінити її ринкову вартість на основі аналізу використання та вегетації у попередні роки. В межах проекту проаналізовано поля, які 4 роки поспіль (з 2016 по 2019 р.) засівали соняшником, оскільки, як відомо, ця культура значно виснажує землю (рис. 3). Рекордсменами за площами, на яких не було сівозміни соняшнику, є Миколаївська і Кіровоградська області (близько 35 тис. га в кожній).

Не менш важливим завданням було відстеження полів, на яких збирання врожаю відбувається двічі за один вегетаційний сезон. Для прикладу ми створили карту таких полів у Херсонській області, в якій спостерігається найбільше випадків збору двох врожаїв з одного поля. Супутниковий моніторинг показав, що площа «подвійних» полів становить близько 25 тис. га. Характерною ознакою таких полів є те, що вони мають два піки вегетації за один сезон, а отже, зафіксувавши два піки і два спади за сезон, можна стверджувати, що на полі було зібрано два врожаї. Більшість таких полів мають попередником озиму культуру (зернові або озимий ріпак), щоб встигнути зібрати врожай до настання морозів.

Крім того, переважна більшість «подвійних» полів розташована на зрошуваних землях. За допомогою супутникової інформації можна також визначити поля, що зрошуються. Цей моніторинг ґрунтується на двох ознаках: по-перше, такі поля мають нижчу температуру, а по-друге, вони більш вологі, ніж усі інші. На рис. 4 на прикладі Херсонської області наведено результат визначення потенційно зрошуваних полів, а також зазначено площі, засіяні відповідними культурами. Загальна площа таких полів становила близько 350 тис. га.

Супутниковий моніторинг — це також забезпечення страхових компаній інформацією, яка допомагає точніше оцінити сільськогосподарські ризики і запобігти завищенню потенційних загроз урожаю, а також обґрунтування

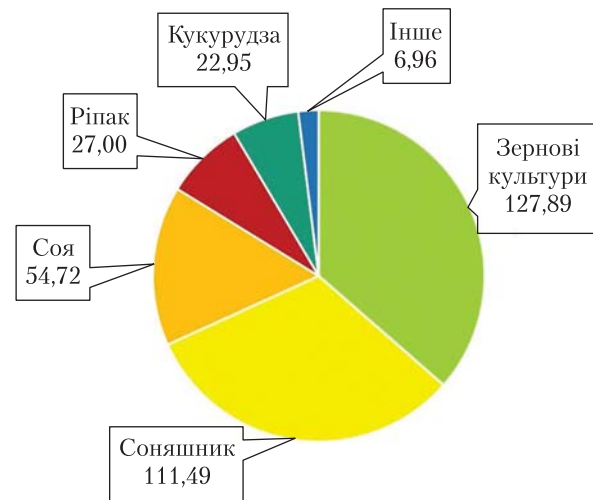
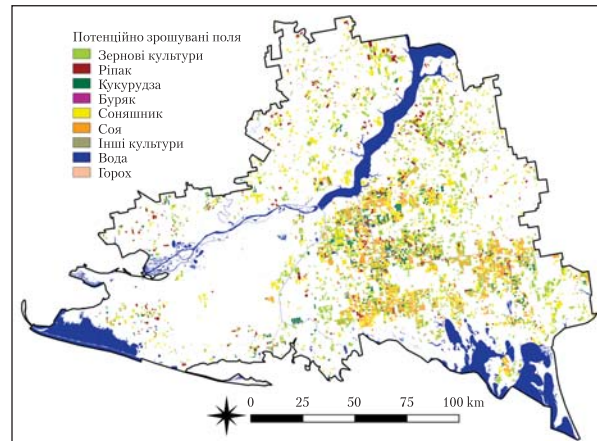


Рис. 4. Моніторинг потенційно зрошуваних полів (Херсонська область, 2019 р.)

кредитних ліній з меншою відсотковою ставкою для фермерів, що є надзвичайно важливим для розвитку аграрного сектору в Україні.

Трейдерам сільськогосподарської продукції супутникові технології дають можливість належним чином передбачити баланс цін на майбутні врожаї, що сприяє стабілізації ринку сільськогосподарських культур, зменшує негативний вплив від коливання цін на ньому, прискорює процес інтегрування України у світовий ринок продовольства.

І найголовніше, точність супутникової інформації та швидкість опрацювання даних по-

стійно зростають. Зокрема, кілька років тому супутникові знімки одного і того ж місця можна було отримувати лише раз на три місяці. Сьогодні цей період скорочено до 6 днів.

Інакше кажучи, використання сучасних технологій та моделей штучного інтелекту має великий потенціал і може допомогти фермерам та уряду працювати «на полях» з відкритими очима. Основна проблема полягає у розумінні цього потенціалу, у бажанні та готовності використовувати його для максимізації можливостей родючих українських земель, для збільшення врожаю сьогодні та в майбутньому.

Отже, супутниковий моніторинг використання земель в Україні в рамках програми Світового банку «Підтримка прозорого землекористування в Україні», яка реалізовується за фінансової підтримки ЄС, є передумовою справедливості та надійності земельної реформи в Україні.

*Роботу виконано в межах проекту Світового банку «Підтримка прозорого управління земельними ресурсами в Україні».*

*Склад робочої групи: **Куссуль Наталія Миколаївна** — доктор технічних наук, професор, заступник директора Інституту космічних досліджень НАН України та ДКА України;*

***Шелестов Андрій Юрійович** — доктор технічних наук, професор кафедри інформаційної безпеки Фізико-технічного інституту НТУУ «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»; **Яйлимов Богдан Якович** — кандидат технічних наук, старший науковий співробітник Інституту космічних досліджень НАН України та ДКА України; **Яйлимова Ганна Олексіївна** — аспірант факультету комп'ютерних наук та кібернетики Київського національного університету імені Тараса Шевченка; **Лавренюк Микола Сергійович** — аспірант Фізико-технічного інституту НТУУ «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», молодший науковий співробітник Інституту космічних досліджень НАН України та ДКА України; **Колотій Андрій Всеволодович** — кандидат технічних наук, старший науковий співробітник Інституту космічних досліджень НАН України та ДКА України; **Шуміло Леонід Леонідович** — магістр Фізико-технічного інституту НТУУ «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського, інженер Інституту космічних досліджень НАН України та ДКА України; **Білоконська Юлія Валентинівна** — інженер Інституту космічних досліджень НАН України та ДКА України.*

## REFERENCES

## [СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ]

1. Shelestov A., Lavreniuk M., Vasiliev V., Shumilo L., Kolotii A., Yailymov B., Kussul N., Yailymova H. Cloud Approach to Automated Crop Classification Using Sentinel-1 Imagery. *IEEE Transactions on Big Data (Early Access)*. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1109/TBDDATA.2019.2940237>
2. Kussul N., Shelestov A., Lavreniuk M., Kolotii A., Vasiliev V. Crop Mapping Based on Sentinel-1 and Sentinel-2 Data Within World Bank Project. In: *Earth Observation Phi-Week* (September 9–13, 2019, Rome, Italy).
3. Kussul N., Lavreniuk M., Shelestov A., Skakun S. Crop inventory at regional scale in Ukraine: developing in season and end of season crop maps with multi-temporal optical and SAR satellite imagery. *European Journal of Remote Sensing*. 2018. **51**(1): 627-636. DOI: <https://doi.org/10.1080/22797254.2018.1454265>
4. Kussul N., Shelestov A., Lavreniuk M., Kolotii A., Vasiliev V. Transparent Land Governance in Ukraine within World Bank Program. In: *IEEE 2nd Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON)* (July 2-6, 2019, Lviv, Ukraine). P. 1077-1080. DOI: <https://doi.org/10.1109/UKRCON.2019.8879771>
5. Kussul N., Shelestov A., Lavreniuk M., Kolotii A., Vasiliev V. Land Cover and Land Use Monitoring Based on Satellite Data within World Bank Project. In: *10<sup>th</sup> International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies (DESSERT)* (June 5-7, 2019, Leeds, United Kingdom). P. 127-130. DOI: <https://doi.org/10.1109/DESSERT.2019.8770040>

6. Kussul N., Nizalov D., Shelestov A., Lavreniuk M., Skakun S., Kolotii A., Vasiliev V., Karlov E. Satellite crop monitoring within World Bank project on land management transparency. In: *2019 World Bank conference on land and poverty* (March 25-29, 2019, Washington, USA).
7. Shelestov A., Lavreniuk M., Kussul N., Novikov A., Skakun S. Exploring Google Earth Engine Platform for Big Data Processing: Classification of Multi-Temporal Satellite Imagery for Crop Mapping. *Frontiers in Earth Science*. 2017. 5:17. DOI: <https://doi.org/10.3389/feart.2017.00017>
8. Waldner F., Bellemans N., Hochman Z., Newby T., Abelleira D., Verón S., Bartalev S., Lavreniuk M., Kussul N., Maire G., Simoes M., Skakun S., Defourny P. Roadside collection of training data for cropland mapping is viable when environmental and management gradients are surveyed. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 2019. 80: 82–93. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jag.2019.01.002>

*N.M. Kussul*

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

#### CROP MONITORING IN UKRAINE: MYTH OR REALITY?

Ukraine is on the verge of opening the land market. This process will begin in 2020, when free sale of land will be introduced. Currently, only the lease of the land is officially allowed. To ensure transparency, equity and reliability of this process, objective information on real land use and its history, crop development state in each vegetation season is required. All these indicators significantly affect the market value of the land. However, there is no publicly available system in Ukraine with information on real land use and landowners. This information is only contained in the state cadaster system, which contains a lot of incorrect information, since land ownership acts were generated chiefly manually. These mistakes became obvious after the process of digitizing the state cadaster. Therefore, creation of the legal, technical and legislative prerequisites for opening the land market becomes an extremely important task, as well as the development of geospatial information system of real land use in Ukraine. The World Bank program “Supporting Transparent Land Governance in Ukraine” with financial support from the EU is aimed at addressing these issues.

**Keywords:** transparent land use, World Bank, satellite monitoring, big data, data analysis.