

УДК: 004.62, 004.67

## Стан моніторингу фактичного використання сільськогосподарських земель в провідних країнах на основі супутникових даних

А. Ю. Шелестов<sup>1,2\*</sup>, Б. Я. Яйлимов<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

<sup>2</sup> Інститут космічних досліджень НАН України та ДКА України, Київ, Україна

Представлені результати аналізу використання супутникових даних для моніторингу сільськогосподарських земель в різних країнах. З практичної точки зору проаналізовано доступність супутникових даних і загальноприйняті підходи до отримання та обробки даних.

**Ключові слова:** Land Cover, CAP, JRC, IACS, CDL, GEOGLAM, моніторинг сільськогосподарських земель, класифікація супутникових даних

© А. Ю. Шелестов, Б. Я. Яйлимов. 2017

### Вступ

У зв'язку з запуском великої кількості супутників спостереження Землі і наявністю великих об'ємів різномірних даних дистанційних спостережень в останні роки ці дані широко використовуються органами державної влади різних країн для підтримки прийняття рішень в сфері екологічної безпеки, моніторингу розбудови міст та доріг, побудови єдиної інфраструктури геопросторових даних INSPIRE, агромоніторингу.

Проаналізуємо результати проведеного аналізу щодо застосування даних спостереження Землі для моніторингу фактичного використання земель сільськогосподарського призначення в різних країнах.

### Європейський Союз

В Європі моніторинг фактичного використання земель здійснюється в межах реалізації Спільної сільськогосподарської політики (CAP — Common Agricultural Policy) [7]. З 2013 р. у всіх Європейських країнах запроваджено нову нормативну основу для здійснення контролю за екологічною безпекою та використанням коштів на сільськогосподарське виробництво [7, 17–25, 37, 59–61].

Політика CAP призначена для підтримки фермерів у Європу, які забезпечують життєдіяльність більше ніж 500 мільйонів європейців. Її основна мета полягає у забезпеченні стабільної, сталої підтримки виробників сільськогосподарської продукції, забезпечення адекватних цін для споживачів та зростання стандартів праці для 22 мільйонів фермерів та працівників сільського господарства.

Агропромисловий сектор ЄС має 11 мільйонів фермерських господарств, на яких працює біля 22 мільйонів працівників. В той же час кількість працюючих зростає до 44 мільйонів, коли до уваги беруться працівники фабрик. Це робить агропромисловий сектор ЄС найбільшим ринком праці європейської економіки.

Політика CAP призначена для підтримки фермерів у Європі. Її основна мета полягає у забезпеченні стабільної, сталої підтримки виробників сільськогосподарської продукції, забезпечення адекватних цін для споживачів та зростання стандартів праці для 22 мільйонів фермерів та працівників сільського господарства.

Зокрема, в межах ЄС розроблено та використовується єдина **інтегрована система адміністрування та контролю** (Integrated Administration and Control System — IACS) [24]. Систему IACS повинні підтримувати та використовувати всі країни-члени ЄС [24]. Ця система призначена для менеджменту субсидій, які можуть бути отримані конкретними фермерами або сільськогосподарськими господарствами напряму (direct funding) або в межах програми розвитку сільських територій (rural development) від спеціалізованих агенцій (Paying Agency — PA).

Система IACS складається з декількох комп'ютерних, пов'язаних одна з одною, баз даних, які використовуються для обробки запитів на фінансування від фермерів. Зокрема, система IACS має наступні основні компоненти [24]: підсистема ідентифікації фермерів, система ідентифікації всіх сільськогосподарських ділянок Land Parcel Identification System (LPIS) [23], система ідентифікації субсидій та платежів, система ідентифікації та реєстрації тварин.

Система IACS забезпечує унікальний ідентифікаційний номер фермера та земельних ділянок (парселей) [24].

\*E-mail: yailymov@gmail.com, тел. +380(93)9311600

В межах функціонування системи IACS коректність надання субсидій може бути перевірена шляхом проведення адміністративної процедури або здійснення вибіркового наземних експедицій (On-The-Spot-Check — OTSC) [17]. Адміністративні інструменти дозволяють проводити перехресні перевірки інформації, що міститься у формі апліканта (фермера) [24]. Перехресні перевірки здійснюються в системі IACS автоматично.

Для перевірки коректності даних можуть також бути використані методи оцінки ризиків. Якщо в результаті перевірки були знайдені невідповідності у занесеній інформації, країною-членом ЄС повинна бути організована наземна перевірка обраних земельних ділянок OTSC [60, 61]. Для цього можуть використовуватись різні методи, зокрема, випадкового вибору ділянок для перевірки, стратифікованого випадкового вибору або вибору в межах окремих кластерів [20]. При цьому повинні бути перевірені 50% ділянок з помилками. В той же час, якщо є у наявності аеро- або супутникові зображення цільової території, у багатьох випадках шляхом використання таких даних можна мінімізувати кількість наземних виїздів та оцінити розмір парселів та тип культури дистанційно [24]. При цьому в якості супутникових зображень використовуються дані з операційних європейських супутників родини Sentinel та програми Copernicus [17].

З огляду на те, що у більшості країн ЄС дані дистанційного зондування використовуються для контролю як мінімум частини субсидій на ведення сільського господарства, значну кількість інформації можна отримати в межах спеціалізованої політики CwRS (Control with Remote Sensing) [59].

Європейська система IACS використовує дані з різних спеціалізованих систем. Тому для забезпечення інтеграції та узгодженості зібраних на протязі вегетаційного сезону даних між різними джерелами/службами використовується структура даних [37]. Зокрема, при обміні даними щодо кадастрових парселів (reference parcel), які відповідають класам земної поверхні (land cover), та системою LPIS з сільськогосподарськими парселями (land use) використовується інфраструктура INSPIRE та низка стандартів ISO щодо обміну геопросторовими даними та метаданими [37].

Посилання на більшість документів та технічних керівництв щодо європейської системи IACS, LPIS та менеджменту сільськогосподарського виробництва в Європі в цілому можна знайти за адресами [22, 25].

## США

У США для забезпечення провідної ролі цієї країни в області отримання та використання даних дистанційних спостережень ще у 1992 р. було прийнято цілу низку законів, зокрема № 2297 “Забезпечення провідної ролі США в області дистанційного

зондування та неперервного отримання даних в межах програми Landsat шляхом розвитку нової національної політики дистанційного зондування землі” [38], 3614 “Зміни у законодавчий Акт щодо комерціалізації дистанційного зондування землі шляхом забезпечення неперервного отримання даних в межах програми Landsat та підтримки нової політики дистанційного зондування” та 6133. Ці законодавчі Акти можуть бути об’єднані загальною назвою “Політика дистанційного зондування Землі” (Land Remote Sensing Policy).

В межах цих документів на найвищому законодавчому рівні закріплено важливість операційної програми Landsat, супутникових даних, що отримуються в її межах, та визначено основні компетенції різних відомств [38].

Основною метою законодавчих актів № 2297, 3614 та 6133 є наступне:

- забезпечення лідируючої ролі США в області ДЗЗ у світі, забезпечення національної безпеки та виконання міжнародних зобов’язань;
- законодавча підтримка розробки цивільних дослідницьких програм та демонстрації можливостей застосування технологій ДЗЗ;
- розробка технологій надання даних ДЗЗ високої якості;
- підтримка постійно діючого глобального архіву супутникових даних, які можуть використовуватись для довгострокового моніторингу змін навколишнього середовища.

Іншими документами, що регламентують діяльність космічних агенцій США, є закон 2010 р. № 111—314 [57]. Цей закон містить перелік обов’язків космічної агенції НАСА, інструменти та принципи формування космічних програм, принципи ліцензування доступу до супутникових даних та наземного сегмента (довгострокове зберігання, надання на безкоштовній основі), оцінку ризиків виконання таких програм, обов’язки профільних міністерств тощо.

В розділі VI, “Спостереження Землі” [57], міститься інформація щодо застосувань супутникової інформації. Зокрема, в межах діяльності міністерств сільського господарства та внутрішніх справ США зафіксовано, що для постійного покращення можливостей США щодо управління та застосування поновлюваних та непоновлюваних ресурсів ці установи уповноважені та повинні ініціювати дослідницькі та інноваційні програми застосування даних ДЗЗ шляхом використання відповідних фондів. Міністерства та відомства повинні ініціювати дослідження в університетах, інтеграційну діяльність між різними відомствами та міжнародними організаціями.

Останні роки Національна служба аграрної статистики (National Agricultural Statistics Service — NASS) Департаменту сільського господарства США (US Department of Agriculture — USDA) щорічно бу-

дує інформаційний продукт CDL (Cropland Data Layer — шар даних про сільськогосподарські культури) [6], який представляє собою растрові, географічно прив'язані дані про окремі сільськогосподарські культури та класи земної поверхні. В якості вхідної інформації програмними засобами побудови продукту CDL використовуються супутникові дані середнього просторового розрізнення, зібрані USDA наземні та інші історичні дані, такі як національний набір даних про класи земної поверхні (National Land Cover Data) [6]. Для отримання відкритих для використання результатів класифікації на рівні окремих штатів використовуються методи класифікації на основі дерев рішень. При цьому наземні дані збираються шляхом організації наземних експедицій щорічно у червні в межах підтримки функціонування системи CDL та агенції NASS. При цьому загальна точність класифікації складає від 85% до 95% для основних (мажоритарних) сільськогосподарських культур.

Основна задача департаменту USDA і служби статистики США полягає у вчасному наданні точної статистичної інформації щодо динаміки розвитку сільськогосподарського виробництва. З 2009 р. Програма CDL грає важливу роль у функціонуванні державних органів влади США шляхом надання оперативної інформації по оцінці площ посівів для Ради сільськогосподарської статистики і офісів збору наземної інформації для 15 основних сільськогосподарських культур у 27 штатах. З 2009 р. в межах Програми CDL здійснюється моніторинг різних культур, таких як кукурудза, соя, пшениця, рис, хлопків та надаються оцінки площ посівів на протязі поточного вегетаційного сезону після того, як стають доступними звіти фермерів та супутникові дані [6]. Для найбільш важливих з точки зору сільського господарства штатів служба CDL оновлює цю інформацію до 6 разів на сезон.

Інформаційні продукти CDL являють собою вичерпні, растрові та географічно прив'язані дані по окремим сільськогосподарським культурам та іншими класами земної поверхні з просторовим розрізненням 56 м. З 2010 р. 48 продуктів класифікації земної поверхні для рівня окремого штату були відкрито розповсюджені у вигляді шарів даних для подальшого використання у GIS-системах.

Інформаційні продукти CDL використовуються для отримання багатьох геопросторових продуктів на території США, в тому числі спільно з різночасовими даними MODIS (з геопросторовим розрізненням 500 м) для оцінки площ кукурудзи і сої [8], моніторингу сільськогосподарських земель у Північній та Південній Дакоті [42], автоматичної оцінки стану земель, прогнозування урожайності, оцінки змін ландшафту, сівозмін та розв'язання інших задач у різних предметних областях [45, 48, 52, 58].

При цьому для побудови багатьох продуктів використовуються наземні виміри, які щорічно збира-

ються протягом червня в межах реалізації політики JAS (June Agricultural Survey). Для здійснення наземних досліджень вибирається близько 11 000 сегментів розміром 1 × 1 миль у відповідності до національної стратегії побудови статистично стратифікованих вибірок [6].

В якості основних джерел вхідної інформації для генерації продуктів CDL використовуються дані AWiFS (просторове розрізнення 56 м в надирі), Landsat TM та ETM+ (30 м), супутникові дані MODIS (250—500 м), ретроспективні та актуальні наземні дані, національні набори даних по класах земної поверхні для несільськогосподарських територій, історичні дані та модель рельєфу агенції US Geological Survey (USGS) [49].

Точність інформаційних продуктів CDL для сільського господарства оцінюється шляхом їх порівняння з незалежною валідаційною вибіркою, що формується на основі частини даних, отриманих в процесі проведення наземних досліджень. Кількість таких даних складає біля 30% від загальної кількості зібраних наземних даних. Ці дані використовуються виключно для валідації отриманих моделей на рівні окремих пікселів [6, 10]. Як правило, для основних класів сільськогосподарських культур точності PA і UA складають від 85% до 95%. Ця інформація включається в якості метаданих у всі інформаційні продукти CDL [6, 51].

## Канада

В Канаді на основі радарних даних щорічно будується маска сільськогосподарських культур. Відповідальною організацією є Agriculture and Agri-Food Canada — один з департаментів уряду Канади, що займається збором інформації щодо сільськогосподарського виробництва, розробки та впровадження технологій агромоніторингу та здійснення моніторингової політики на рівні держави [12].

Ефективність управління сільським господарством в Канаді напряму залежить від інформації, яка доступна для підтримки процесу прийняття рішень. Масштаби і складність канадського сільськогосподарського ландшафту призводять до того, що супутникові дані використовуються в якості основного джерела своєчасної та актуальної інформації щодо сільськогосподарського виробництва. У 2007 р. Департамент AAFC Міністерства сільського господарства і продовольства Канади зробило перші кроки в напрямку оперативного використання цієї інформації шляхом розробки програмної системи для картографування сільськогосподарських культур на основі супутникових спостережень. Ця система заснована на дослідженнях і розробках програмного забезпечення в області дистанційного зондування, які проводились в департаменті AAFC і в інших організаціях протягом двох десятиліть, і використовується для картографування посівів на окремих

полях в провінціях Альберта, Саскачеван і Манітоба у 2009 і 2010 рр., а в 2011 і 2012 рр. і для всіх інших провінцій Канади (крім Ньюфаундленду, який було додано в систему в 2013 р.) [12].

У 2009 і 2010 рр. для пілотних територій провінцій Манітоба, Саскачеван, Альберта була застосована методологія класифікації та злиття оптичних (Landsat-5, AWiFS, DMC, SPOT) і радарних (Radarsat-2) супутникових зображень. Починаючи з 2011 р. за підтримки Національного кадастру Канади ця методологія застосовується і для інших провінцій. На даний момент запропонований підхід дозволяє виконувати інвентаризацію сільськогосподарських культур з точністю не нижче 85% шляхом використання супутникових даних з просторовим розрізненням 30 м.

На даний момент карти посівів сільськогосподарських культур для всієї території Канади надаються через 8 місяців після закінчення вегетаційного сезону [12]. Насправді, найбільш затребуваними є два типи картографічних продуктів: попередня оцінка під час вегетаційного сезону та остаточна оцінка, зроблена незабаром після закінчення вегетації. З цією метою служба спостереження Землі (Earth Observation Service — EOS) впроваджує новий повністю автоматичний класифікатор сільськогосподарських культур, використання якого дозволить значно скоротити час побудови карт посівів. У 2012 р. відсутність доступних оптичних даних змусила AAFC покладатися в основному на радіолокаційні супутникові дані RADARSAT-2, що, в свою чергу, ускладнило процес підготовки карт посівів. Очікується, що дані з нових супутників (Landsat 8, Radarsat Constellation Mission, Sentinel-2) дозволять істотно підвищити якість карт посівів, розроблених AAFC.

Початкова інвентаризація сільськогосподарських культур дозволила отримати фундаментальну інформацію про стан сільськогосподарських земель в Канаді. Наприклад, в 2011 р. інвентаризація включала в себе визначення посівних площ, які були занадто вологими для засадження сільськогосподарськими культурами. Отримані оцінки відрізнялись всього на 3% від інформації, наданої безпосередньо провінціями.

Для оперативної оцінки стану посівів AAFC розробляється система класифікації культур [14], яка дозволяє обробку великого обсягу даних. При цьому для отримання цифрових карт посівів виконується процес класифікації, що складається з наступних етапів:

- 1) Планування і отримання (зйомка) необхідних даних.
- 2) Попередня обробка даних: атмосферна корекція [14, 56], геометрична корекція [26, 43].
- 3) Визначення регіонів для класифікації.
- 4) Класифікація [15, 50].

Інформаційна система, що використовується Міністерством сільського господарства і продоволь-

ства Канади, дозволяє автоматично керувати процесами класифікації. При цьому в процесі класифікації використовується дворівнева ієрархічна схема, коли спочатку сільськогосподарські землі діляться на узагальнені класи, в межах яких пізніше виділяються підкласи. Класифікація виконується в три етапи. Спочатку оновлюється карта земного покриву NLWIS [26]. Далі створюється карта сільськогосподарських земель і пасовищ. І лише після того виконується картографування сільськогосподарських посівів та оцінка їх площі.

1) Постобробка результатів класифікації (фільтрація). Цей крок підвищує загальну точність класифікації приблизно на 5%.

2) Розповсюдження даних. Дані розповсюджуються в растровому форматі у відповідній проекції UTM для території окремих провінцій. Їх можна завантажити з FTP-сервера Міністерства сільського господарства і продовольства Канади AAFC [12].

На основі використання мультиспектральних даних (Landsat, SPOT, DMC, AWiFS і т. д.) можна класифікувати посіви, якщо дані будуть доступні в потрібні моменти часу. Якщо знімки захмарені, то точність класифікації може істотно знизитись. Щоб зменшити цей ризик і зменшити витрати на отримання певних оптичних даних, Міністерство сільського господарства і продовольства Канади працює над алгоритмами класифікації культур лише за радарними даними. Наприклад, для основних сільськогосподарських культур, таких як яра пшениця і горох, точність більше 85% може бути досягнута на початку вегетаційного сезону (початок липня), використовуючи дані RADARSAT-2 [53] або RADARSAT Constellation з більшою зоною покриття [9]. При цьому оптичні дані для класифікації можуть не використовуватись [11, 46].

Щороку департамент AAFC забезпечує збір десятків тисяч точок для ідентифікації посівів по всій країні. Ці точки використовуються в якості навчальних або довідкових даних, і мають бути пов'язані з контурами полів. Оцифровка зображень з високою роздільною здатністю потребує багато зусиль. Для того, щоб скоротити час, відведений для виконання цього завдання, розробляється автоматичний метод, заснований з використанням кадастрових даних та сегментації знімку [12].

Використання супутникової інформації на глобальному рівні

На сьогодні варто виділити також декілька глобальних розробок та ініціатив, пов'язаних з використанням супутникової інформації спостереження Землі для розв'язання задач моніторингу сільськогосподарських земель на глобальному або регіональному рівнях. В Європейському Союзі в операційному режимі використовується система MARS [47]. В межах MARS розроблено систему CGMS для оцінки стану сільськогосподарських культур та прогнозування врожайності.

Протягом останніх десяти років в Росії на рівні міністерства сільського господарства активно впроваджується система агромоніторингу “Вега”, що дозволяє здійснювати оперативний моніторинг як на регіональному рівні, так і на рівні окремих полів та господарств. Аналогічна інформаційна система підтримується на державному також у Республіці Казахстан.

Спостерігається тенденція глобалізації сервісів моніторингу сільськогосподарських земель в світі, зокрема в програмах GEO-GLAM [16], US GEO-GLAM [62] та AMIS [4]. В межах програми GEO-GLAM здійснюється побудова масок основних сільськогосподарських культур по всьому світу, оцінка стану рослинності та надається прогноз щодо подальшого розвитку сільськогосподарських культур. Для цього використовуються супутникові дані та продукти MODIS. Менеджмент цієї системи здійснює університет штату Меріленд (США). З даною програмою тісно пов’язана міжміністерська ініціатива AMIS, призначена для моніторингу глобальних ринків сільськогосподарської продукції. В якості вхідних даних система AMIS використовує дані системи GEO-GLAM.

На даний момент можна констатувати той факт, що побудова глобальних систем здійснюється в межах міжнародних проєктів [31, 34, 39–41, 54]. Комітет GEO лише надає загальний контекст та напрямки цього розвитку.

### Україна

На даний момент в Україні на державному рівні супутникові дані для здійснення агромоніторингу не використовуються. Можна навести приклади окремих розроблених пілотних інформаційних систем агромоніторингу, які на даний момент є лише ілюстрацією деяких можливостей розв’язання цієї важливої задачі [1, 5, 28, 29 30, 32, 33, 35]. Декілька пілотних проєктів знаходяться на стадії виконання [2, 3, 36].

В той же час в Україні встановлені тісні зв’язки з провідними організаціями у світі, такими як центр JRC Єврокомісії, та є досвід розробки і адаптації методів та технологій здійснення агромоніторингу, які впроваджуються в Європі та інших країнах [27, 44, 55]. Задача впровадження технологій супутникового моніторингу в державне управління ускладнюється відсутністю в Україні законодавчої бази для виконання таких робіт.

### Висновки

На основі проведеного аналізу можна зробити наступні висновки.

На даний момент супутникові дані та інша геопросторова інформація є вагомим джерелом інформації про використання земель по всьому світу. В

багатьох розвинених регіонах (Північна Америка, Європа) розроблена комплексна правова підтримка такої діяльності. Більшість геопросторових сервісів і даних щодо фактичного використання земель базується на використанні безкоштовних даних, які на даний момент є найбільшим джерелом актуальної інформації про поверхню Землі і, зокрема, про сільськогосподарські землі. Як правило, точність геопросторових продуктів досягає 85–95% в залежності від сільськогосподарської культури, що розглядається. В процесі здійснення моніторингу фактичного використання земель використовуються також дані кадастрових та інших систем, які підтримуються відомчими підрозділами.

### Література

1. Інформаційні технології глибокого машинного навчання для аналізу змін земного покриву / Н. М. Куссуль [та ін.]. — Доповіді Національної Академії Наук України. — 2016. — №8. — С. 26–32. — DOI: 10.15407/dopovidi2016.08.000.
2. Супутниковий агромоніторинг в Україні: Міжнародний симпозиум за проєктом Європейського космічного агентства “Sentinel-2 for Agriculture” / Н. М. Куссуль [та ін.]. — Вісник Національної академії наук України. — 2016. — № 12. — С. 99–104. — DOI: doi.org/10.15407/visn2016.12.099.
3. Супутниковий агромоніторинг в Україні: перспективи участі в європейських програмах / Н. М. Куссуль [та ін.]. — Вісник Національної академії наук України. — 2016. — № 2. — С. 96–102. — DOI: 10.15407/visn2016.02.096.
4. AFC Annual Crop Inventory. Status and Challenges / T. Fissette [et al.]. — Second International Conference on Agro-Geoinformatics (Agro-Geoinformatics). — 2013. — DOI: 10.1109/Argo-Geoinformatics.2013.662192.
5. Agricultural Market Information System [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://www.amis-outlook.org/> (23.02.2017). — Назва з екрану.
6. Annual Space-Based Crop Inventory for Canada: 2009–2014 / T. Fissette [et al.]. — IGARSS 2014. — 2014. — P. 5095–5098. — DOI: 10.1109/IGARSS.2014.6947643.
7. Assessing tree cover in agricultural landscapes using high-resolution aerial imagery / G. Liknes [et al.]. — The Journal of Terrestrial Observation. — 2010. — Vol. 2, No. 1. — P. 38–55.
8. Bakan G.M. Fuzzy ellipsoidal filtering algorithm of static object state / G. M. Bakan, N. N. Kussul // Problemy Upravleniya I Informatiki (Avtomatika). — 1996. — № 5. — P. 77–92.
9. CAP at a glance [Електронний ресурс]. — Режим доступу: [http://ec.europa.eu/agriculture/cap-overview/index\\_en.htm](http://ec.europa.eu/agriculture/cap-overview/index_en.htm) (23.02.2017). — Назва з екрану.
10. Classification and change detection using Landsat TM data: when and how to correct atmospheric effects / C. Song [et al.]. — Remote Sensing of Environment. — 2001. — Vol. 75, No. 2. — P. 230–244.

11. Compact polarimetry overview and applications assessment / F.J. Charbonneau, [et al.]. — *Canadian Journal of Remote Sensing / Journal canadien de Télédétection*. — 2010. — Vol. 36. — No. 2. — P. 298–315. — DOI: 10.5589/m10-062.
12. Comparison of biophysical and satellite predictors for wheat yield forecasting in Ukraine / A. Kolotii [et al.]. — *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences*. — 2015. — Vol. XL-7/W3. — P. 39–44. DOI:10.5194/isprsarchives-XL-7-W3-39-2015.
13. Congalton R. Assessing the accuracy of remotely sensed data: principles and applications / Congalton R. G., Green K. // Lewis Publishers, Boca Raton, Fla. — 1999.
14. Corn and soybean mapping in the United States using MODIS time-series data sets / J. Chang, [et al.]. — *Agronomy Journal*. — 2007. — Vol. 99. — No. 6. — P. 1654–1664.
15. Crop area estimation in Ukraine using satellite data within the MARS project 2012 / N. Kussul, [et al.]. — *IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)*. — 2012. — P. 3756–3759. — DOI:10.1109/IGARSS.2012.6350500.
16. Deep Learning Approach For Large Scale Land Cover Mapping Based On Remote Sensing Data Fusion / N. Kussul [et al.]. — *Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), 2016 IEEE International* — 2016. — P. 198–201. — DOI: 10.1109/IGARSS.2016.7729043.
17. Efficiency Assessment of Multitemporal C-Band Radarsat-2 Intensity and Landsat-8 Surface Reflectance Satellite Imagery for Crop Classification in Ukraine / S. Skakun [et al.]. — *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*. — Aug. 2016. — Vol. 9, No. 8. — P. 3712–3719. — DOI: 10.1109/JSTARS. 2015. 2454297.
18. Flood mapping with satellite images and its web service / J. Shan [et al.]. — *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*. — 2010. — Vol. 76. — No. 2. — P. 102–104.
19. Friedl M. A. Decision tree classification of land cover from remotely sensed data / M. A. Friedl, C. E. Brodley // *Remote Sensing of Environment*. — 1997. — Vol. 61, No. 3. — P. 399–409.
20. Group on Earth Observations [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://www.earthobservations.org/geoglam.php> (23.02.2017). — Назва з екрану.
21. Guidance document (campaign 2016) for On-The-Spot Checks (OTSC) and area measurement according to articles 24, 25, 26, 27, 30, 31, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41 of Regulation (EU) 809/2014 [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://marswiki.jrc.ec.europa.eu/> (23.02.2017). — Назва з екрану.
22. Guidance document (revised version after simplification) on aid applications and payment claims referred to in article 72 of Regulation (EU) 1306/2013 [Електронний ресурс]. — Режим доступу: [https://marswiki.jrc.ec.europa.eu/wikicap/images/5/58/DS-DSCG-2014-39\\_aid\\_application\\_guidance\\_final\\_rev1\\_clean.pdf](https://marswiki.jrc.ec.europa.eu/wikicap/images/5/58/DS-DSCG-2014-39_aid_application_guidance_final_rev1_clean.pdf) (23.02.2017). — Назва з екрану.
23. Guidance document (revised version after simplification) on the establishment of the EFA layer referred to in article 70(2) of Regulation (EU) 1306/2013 [Електронний ресурс]. — Режим доступу: [https://marswiki.jrc.ec.europa.eu/wikicap/images/4/4b/DSCG-2014-31\\_EFA-layer\\_FINAL-2015.doc.pdf](https://marswiki.jrc.ec.europa.eu/wikicap/images/4/4b/DSCG-2014-31_EFA-layer_FINAL-2015.doc.pdf) (23.02.2017). — Назва з екрану.
24. Guidance document (revised version after simplification) on the establishment of the EFA layer referred to in article 70(2) of Regulation (EU) 1306/2013 [Електронний ресурс]. — Режим доступу: [https://marswiki.jrc.ec.europa.eu/wikicap/images/9/98/DSCG-2014-32\\_FINAL\\_Rev2\\_FINAL\\_OTSC\\_guideline\\_2016\\_clean.pdf](https://marswiki.jrc.ec.europa.eu/wikicap/images/9/98/DSCG-2014-32_FINAL_Rev2_FINAL_OTSC_guideline_2016_clean.pdf) (23.02.2017). — Назва з екрану.
25. Guidance document on the implementation by Member States of permanent grassland provisions in the context of greening [Електронний ресурс]. — Режим доступу: [https://marswiki.jrc.ec.europa.eu/wikicap/images/0/05/DS-EGDP-2015-02\\_rev4\\_clean.pdf](https://marswiki.jrc.ec.europa.eu/wikicap/images/0/05/DS-EGDP-2015-02_rev4_clean.pdf) (23.02.2017). — Назва з екрану.
26. Guidance document on the Land Parcel Identification System (LPIS) under articles 5, 9 and 10 of commission delegated regulation (eu) no 640/2014 and on the establishment of the efa-layer referred to in article 70(2) of regulation (eu) no 1306/2013 [Електронний ресурс]. — Режим доступу: [https://marswiki.jrc.ec.europa.eu/wikicap/images/c/c6/DSCG-2014-33\\_FINAL\\_Rev\\_3\\_FINAL\\_LPIS\\_guideline\\_2016\\_clean.pdf](https://marswiki.jrc.ec.europa.eu/wikicap/images/c/c6/DSCG-2014-33_FINAL_Rev_3_FINAL_LPIS_guideline_2016_clean.pdf) (23.02.2017). — Назва з екрану.
27. Guidance document on the Land Parcels Identification System (LPIS) under articles 5, 9 and 10 of Commission Delegated Regulation (EU) 640/2014 [Електронний ресурс]. — Режим доступу: [https://marswiki.jrc.ec.europa.eu/wikicap/images/a/ab/TG\\_Check\\_Crop\\_Diversification.pdf](https://marswiki.jrc.ec.europa.eu/wikicap/images/a/ab/TG_Check_Crop_Diversification.pdf) (23.02.2017). — Назва з екрану.
28. In-season crop inventory using multi-angle and multi-pass RADARSAT-2 SAR data over the Canadian prairies / J. Shang [et al.]. — *SPIE - The International Society for Optical Engineering*. — 2011. — Vol. 8156, Article No. 815604. — DOI: 10.1117/12.8942112011.
29. Integrated Administration and Control System (IACS) [Електронний ресурс]. — Режим доступу: [http://ec.europa.eu/agriculture/direct-support/iacs/index\\_en.htm](http://ec.europa.eu/agriculture/direct-support/iacs/index_en.htm) (23.02.2017). — Назва з екрану.
30. Joint Research Centre [Електронний ресурс]. — Режим доступу: [https://marswiki.jrc.ec.europa.eu/wikicap/index.php/Main\\_Page](https://marswiki.jrc.ec.europa.eu/wikicap/index.php/Main_Page) (23.02.2017). — Назва з екрану.
31. Kauth R.J. The Tasseled Cap - A Graphic Description of the Spectral-Temporal Development of Agricultural Crops as Seen by LANDSAT / R. J. Kauth, G. S. Thomas // *Symposium on Machine Processing of Remotely Sensed Data*, Purdue University, West Lafayette, Indiana. — 1976. — P. 41–57.
32. Land administration in the agricultural sector under INSPIRE [Електронний ресурс]. — Режим доступу: [http://www.eurocadastre.org/pdf/rome\\_december08/presentations/7\\_land\\_administration\\_agriculture\\_inspire\\_framework.pdf](http://www.eurocadastre.org/pdf/rome_december08/presentations/7_land_administration_agriculture_inspire_framework.pdf) (23.02.2017). — Назва з екрану.
33. Land Cover Changes Analysis Based on Deep Machine Learning Technique / N. Kussul [et al.]. — *Journal of*

- Automation and Information Sciences. — 2016. — P. 42–54. — DOI: 10.1615/JAutomatInfScien.v48.i5.40.
34. Land Remote Sensing Policy Act of 1992 [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://www.congress.gov/bill/102nd-congress/senate-bill/2297> (23.02.2017). — Назва з екрану.
  35. Large-Scale Classification of Land Cover Using Retrospective Satellite Data / M.S. Lavreniuk [et al.]. — *Cybernetics and Systems Analysis*. — 2016. — Vol 52. — No 1. — P. 127–138. — DOI: 10.1007/s10559-016-9807-4.
  36. Mapping plant functional types from MODIS data using multisource evidential reasoning / W. Sun, S. Liang [et al.]. — *Remote Sensing of Environment*. — 2008. — Vol. 112. — No. 3. — P. 1010–1024.
  37. Methodology for a Canadian agricultural land cover classification / T. Fiset [et al.]. — 1st International Conference on Object-based Image Analysis, Salzburg University, Austria, 4–5 July 2006. — 2006.
  38. Monitoring Agricultural Resources [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://ec.europa.eu/jrc/en/mars>. (23.02.2017). — Назва з екрану.
  39. Monitoring US agriculture: the US Department of Agriculture, National Agricultural Statistics Service, Cropland Data Layer Program / C. Boryan [et al.]. — *Geocarto International*. — 2011. — Vol. 26. — No. 5. — P. 341–358. — DOI: 10.1080/10106049.2011.562309.
  40. Mueller R. Categorized Mosaicked Imagery from the National Agricultural Statistics Service Crop Acreage Estimation Program. Available on the CD/ R. Mueller // *Proceedings of the ASPRS 2000 Conference*. — 2000.
  41. Opening the Landsat Archive/Product Specifications [Електронний ресурс]. — Режим доступу: USGS, 2010. Available from: [http://landsat.usgs.gov/products\\_data\\_at\\_no\\_charge.php](http://landsat.usgs.gov/products_data_at_no_charge.php) (23.02.2017). — Назва з екрану.
  42. Pal M. An assessment of the effectiveness of decision tree methods for land cover classification / M. Pal, P. M. Mather // *Remote Sensing of Environment*. — 2003. — Vol. 86. — No. 4. — P. 554–565.
  43. Parcel based classification for agricultural mapping and monitoring using multi-temporal satellite image sequences / N. Kussul [et al.]. — *The International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)*, 2015 IEEE International. — 2015. — P. 165–168. — DOI: 10.1109/IGARSS.2015.7325725.
  44. Parcel-based Crop Classification in Ukraine Using Landsat-8 Data and Sentinel-1A Data / N. Kussul [et al.]. — *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*. — 2016. — Vol. 9. — No. 6. — P. 2500–2508. — DOI: 10.1109/JSTARS.2016.2560141.
  45. Regional Retrospective High Resolution Land Cover For Ukraine: Methodology And Results / M. Lavreniuk [et al.]. — *International Geoscience and Remote Sensing Symposium 2015 (IGARSS 2015)*, № 15599383. — P. 3965–3968. DOI: 10.1109/IGARSS.2015.7326693.
  46. Regional scale crop mapping using multi-temporal satellite imagery / N. Kussul [et al.]. — *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences*. — 2015. — P. 45–52. — DOI:10.5194/isprsarchives-XL-7-W3-45-2015.
  47. *Remote Sensing and Image Interpretation* / T. M. Lillesand [et al.]. — Wiley & Sons, New York. — 1994. — P. 523–525.
  48. Seffrin R. Evaluating the accuracy of 2005 multitemporal TM and AWiFS imagery for cropland classification of Nebraska. / R. Seffrin // *ASPRS 2007, Annual Conference*, 7–11 May 2007, Tampa, Florida.
  49. Subtitle VI — Earth Observations. [Електронний ресурс]. — Режим доступу: [https://www.nasa.gov/sites/default/files/atoms/files/public\\_law\\_111-314-title\\_51\\_national\\_and\\_commercial\\_space\\_programs\\_dec\\_18\\_2010.pdf](https://www.nasa.gov/sites/default/files/atoms/files/public_law_111-314-title_51_national_and_commercial_space_programs_dec_18_2010.pdf) (23.02.2017). — Назва з екрану.
  50. Technical Guidance [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://marswiki.jrc.ec>. (23.02.2017). — Назва з екрану.
  51. Technical Guidance document on the On-The-Spot Check of Crop Diversification requirements [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://marswiki.jrc.ec.europa.eu/wikicarp/> (23.02.2017). — Назва з екрану.
  52. Technical Guidance document on the On-The-Spot Check of Ecological Focus Areas requirements [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://marswiki.jrc.ec.europa.eu/wikicarp/> (23.02.2017). — Назва з екрану.
  53. Technologies for Satellite Data Processing and Management Within International Disaster Monitoring Projects / N. Kussul [et al.]. — In: *Grid and Cloud Database Management Grid* — Fiore, S.; Aloisio, G. (Eds.). — 2011, Springer — P. 279–306.
  54. TerraSAR-X and RADARSAT-2 for crop classification and acreage estimation / H. McNairn [et al.]. — *International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)*. — 2009. — P. 898–901.
  55. The use of satellite data for agriculture drought risk quantification in Ukraine / S. Skakun [et al.]. — *Geomatics, Natural Hazards and Risk*. — 2015. — P. 1–18. — DOI: 10.1080/19475705.2015.1016555.
  56. The use of satellite SAR imagery to crop classification in Ukraine within JECAM project / N. Kussul [et al.]. — *IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)*. — 2014. — P. 1497–1500.
  57. Towards operational radar-only crop type classification: comparison of a traditional decision tree with a random forest classifier / B. Deschamps [et al.]. — *Canadian Journal of Remote Sensing*. — 2012. — Vol. 38. — No. 1. — P. 60–68.
  58. US GEOGLAM [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://www.usgeoglam.org/> (23.02.2017). — Назва з екрану.
  59. Use of land surface remotely sensed satellite and airborne data for environmental exposure assessment in cancer research / S.K. Maxwell [et al.]. — *Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology*. — 2010. — Vol. 20. — No. 2. — P. 176–185.
  60. Use of the Earth Observing One (EO-1) Satellite for the Namibia SensorWeb Flood Early Warning Pilot / D. Mandl

- [et al.]. — IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing. — 2013. — Vol. 6. — No 2. — P. 298–308.
61. Validation methods for regional retrospective high resolution land cover for Ukraine / M. Lavreniuk [et al.]. — Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), 2016 IEEE International — 10–15 July 2016. — P. 4502–4505. — DOI: 10.1109/IGARSS.2016.7730174.
62. Water resource quality monitoring using heterogeneous data and high-performance computations / A. N.Kravchenko [et al.]. — Cybernetics and Systems Analysis. — 2008. — Vol. 44. — No. 4. — P. 616–624.

#### СОСТОЯНИЕ МОНИТОРИНГА ФАКТИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ В ВЕДУЩИХ СТРАНАХ НА ОСНОВЕ СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ

А. Ю Шелестов, Б. Я. Яйлимов

В работе представлены результаты анализа использования спутниковых данных для мониторинга сельскохозяйственных земель в разных странах. С практической точки зрения проанализирована доступность спутниковых данных и общепринятых подходов к получению и обработке данных.

**Ключевые слова:** Land Cover, ISO, JRC, IACS, CDL, GEO-GLAM, мониторинг сельскохозяйственных земель, классификация спутниковых данных

#### THE STATE OF ACTUAL LAND USE MONITORING IN THE LEADING COUNTRIES WITH USE OF SATELLITE DATA

Andrii Shelestov, Bohdan Yailymov

This paper provides the results of the analysis of satellite data usage for monitoring the use of agricultural land in different countries. Satellite data availability, generic data processing and retrieval approaches were analyzed from practical point of view.

**Keywords:** Land Cover, ISO, JRC, IACS, CDL, GEO-GLAM, monitoring of agricultural land, classification of satellite data