

doi: <https://doi.org/10.15407/knit2018.04.026>

УДК 004.62, 004.67

Б. Я. Яйлимов¹, М. С. Лавренюк^{1,2}, А. Ю. Шелестов^{1,2},
А. В. Колотій^{1,2}, Г. О. Яйлимова³, О. П. Федоров¹

¹ Інститут космічних досліджень Національної академії наук України
та Державного космічного агентства України, Київ, Україна

² Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського», Київ, Україна

³ Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна

МЕТОДИ ВИЗНАЧЕННЯ ІСТОТНИХ ЗМІННИХ ДЛЯ ОЦІНКИ СТАНУ ЗЕМНОГО ПОКРИВУ

Проведено дослідження та описано методи визначення індикаторів деградації земель. Дослідження у межах роботи дозволять сформулювати методи отримання кількісних оцінок землекористування та їхніх змін для території України. Для оцінки змін земного покриття аналізуються наявні джерела даних для території України. Розглянуто набори даних по території України для створення карт земного покриття та методики оцінки ґрунтово-рослинного покриття, зокрема для оцінки ступеня деградації земель та забезпечення рівня LDN (Land Degradation Neutrality) за підтримки ООН. Для оцінювання динаміки зміни земного покриття на території України обрано 2000, 2010 та 2016 рр. Як джерела даних використано власні карти, створені за розробленою методологією, що передбачає використання нейромережової класифікації часових рядів супутникових даних. Для 2000 та 2010 років карти земного покриття з просторовим розрізненням 30 м для всієї території України створені на основі зображень «Ландсат-4, -5, -7» у межах проекту FP-7 SIGMA. Проведений аналіз показав, що загальна точність глобальних карт земного покриття поступається регіональним картам земного покриття на 10 % для 2000 р. та на 12 % для 2010 р. Для 2016 р. створено карту на основі супутникових даних «Сентінель» із просторовим розрізненням 10 м. З використанням створених карт оцінено зміни земного покриття для 2000—2010 та 2000—2016 років. Оцінка проводилась для таких типів земного покриття: ліс — в необроблюваній землі, ліс — в оброблюваній землі, ліс — в голу землю. Ідентифіковано основні проблеми на території України, місця, де відбуваються масштабні зміни земного покриття. Також оцінено площі для кожного із переходів. Порівняно площі лісів, отримані на основі національних карт земного покриття із статистикою за три роки (2000, 2010 та 2016 рр.).

Ключові слова: істотні зміни, карта земного покриття, супутникові дані, деградація земель.

ВСТУП

Використання монокультур, порушення сівозмін, майже повна відмова від органічних добрив, зменшення частки бобових культур приводять до деґуміфікації ґрунтів, зменшення врожаїв і деградації земель в цілому. Така ситуація характерна для багатьох регіонів України. У світі для оцінки ступеня деградації земель та забезпечення рівня LDN (Land Degradation Neutrality) при підтримці ООН розроблено методики оцінки ґрунтово-рослинного покриття [26]. Метою LDN

є підтримка або моніторинг природних ресурсів землі та пов'язаної із цим наземної екосистеми. У межах глобальної програми підтримки, пілотного проекту комітету ООН з боротьби з опустелюванням та програми, спрямованої на забезпечення нейтрального рівня деградації ґрунтів, визначено ряд інформативних індикаторів, які дають можливість оцінювати поточний стан ґрунтів. Серед цих індикаторів виділено тренди змін рослинного покриття (Vegetative Land Cover Change), динаміка змін продуктивності ґрунтів (Land Productivity Dynamics — LPD) та тренди запасів вуглецю над та під землею (запаси органічного вуглецю ґрунту (soil organic carbon

© Б. Я. ЯЙЛИМОВ, М. С. ЛАВРЕНЮК, А. Ю. ШЕЛЕСТОВ,
А. В. КОЛОТІЙ, Г. О. ЯЙЛИМОВА, О. П. ФЕДОРОВ, 2018

(SOC)). Разом ці показники забезпечують всебічне висвітлення стану земних ресурсів у масштабі країни. Хоча ці показники і оцінюють стан земного покриття за різними критеріями, вони всі є релевантними. Карти земного покриття є джерелом інформації для індикації змін рослинного покриття [2—4]. Продуктивність земель дає можливість оцінювати здоров'я екосистеми в цілому. Вуглець сприяє зростанню рослин, переробці поживних речовин для підтримки родючості ґрунту, очищенню та зберіганню прісної води. Такі роботи цілком відповідають цілям сталого розвитку Сендайського фреймворку на 2015—2030 рр. [33].

Спостереження за змінами із врахуванням трьох показників LDN протягом 10—15 років може слугувати індикатором тенденцій деградації земель. Хоча ці три індикатори разом є придатними для моніторингу екосистеми, їхня агрегація буде приховувати зміни, виявлені в окремих частинах, що може вплинути на прийняття правильного рішення. Позитивна зміна одного з показників не може компенсувати негативні зміни в іншому, оскільки всі вони є доповнювальними, але не обов'язково адитивними компонентами наземних природних ресурсів. Тому, якщо один з показників показує негативну зміну, вважається, що відбувається деградація, навіть якщо інші є позитивними. Такі супутникові продукти створюють об'єктивну картину землекористування всієї країни [5—7].

В нашій роботі детально буде розглянуто перший індикатор (тренди змін земного покриття).

Дослідження в рамках роботи дозволять здійснити спостереження змін земного покриття на рівні всієї території України. В роботі представлено аналіз даних за офіційними статистичними джерелами та порівняння їх з отриманими на основі супутникових даних та історичних наземних даних.

ІДЕНТИФІКАЦІЯ ЗМІН ЗЕМНОГО ПОКРИТТЯ

Для визначення змін земного покриття, які відбуваються із плином часу, необхідно володіти інформацією про її стан за декілька періодів часу. Зміни земного покриття повинні розраховуватися головним чином і максимально можли-

вою мірою з використанням порівнянних і стандартизованих національних джерел даних. Тільки при їхній відсутності або як додаток до національних даних слід використовувати глобальні джерела даних. Однак глобальні карти земного покриття — це мінімальний набір, який може бути доповнений національними (або субнаціональними) даними для більш точної картини деградації земель. У майбутньому всі країни повинні мати можливість здійснювати відповідний збір даних, отримувати та аналізувати інформацію про деградацію земель. При цьому глобальні джерела можуть усунути прогалини в національних даних і в кінцевому підсумку доповнити інформацію по країнам.

При встановленні показників інтенсивності використання земель сільськогосподарського призначення може бути визначений перелік сільськогосподарських культур, вирощування яких обмежується або забороняється з точки зору впливу на стан земель. У таких випадках можуть бути введені спеціальні режими здійснення сільськогосподарського виробництва.

Для розрахунку динаміки змін земного покриття рекомендується застосовувати багаторівневий підхід [26], а саме:

- рівень 1 (метод за замовчуванням): глобальне/регіональне спостереження Землі, аналіз геопросторової інформації та моделювання;
- рівень 2: національні статистичні дані, отримані для адміністративних частин країни;
- рівень 3 (найбільш детальний метод): польові дослідження, наземні вимірювання.

Такий ієрархічний підхід дозволяє використати всі наявні дані, забезпечити максимально можливу точність результатів оцінювання індикатора та масштабованість отриманих результатів. Основою для визначення змін земного покриття є карта класифікації земної поверхні. Розглянемо основні відомі джерела карт земного покриття.

ДЖЕРЕЛА ДАНИХ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ЗМІН ЗЕМНОГО ПОКРИТТЯ НА ТЕРИТОРІЇ УКРАЇНИ

Карти земного покриття відіграють важливу роль для осмислення динаміки екосистем та розв'язання багатьох задач супутникового моніторингу.



Рис. 1. Карта земного покриття 2010 (ESA CCI-LC)

Таблиця 1. Відомі глобальні карти земного покриття

Джерело даних	Рік	Розрізнення	URL
Mathews Global Vegetation/Land Use	1983	1 × 1 км	http://www.giss.nasa.gov/
Olson Land Cover and Vegetation	1983	0.5 × 0.5 км	http://www.grid.unep.ch/
Willson and Henderson-Sellers Global Land Cover	1985	1 × 1 км	http://www.ngdc.noaa.gov/
DeFries/Townshend-Global Land Cover	1995	10 × 10 км	http://glcf.umiacs.umd.edu/
GLCC (IGBP DISCover)	1997	1 × 1 км	http://edcdaac.usgs.gov/
UMD Land Cover	2000	1 × 1 км	http://glcf.umiacs.umd.edu/
MODIS Land Cover	2003	1 × 1 км	http://edcdaac.usgs.gov/
Vegetation Continuous Fields	2003	1 × 1 км	http://glcf.umiacs.umd.edu/
GLC-2000	2003	1 × 1 км	http://www.gvm.sai.jrc.it/
Vegetation Continuous Fields	2003	500 × 500 м	http://glcf.umiacs.umd.edu/
MODIS Land Cover	2008	500 × 500 м	http://edcdaac.usgs.gov/
GLOBCOVER	2009	300 × 300 м	http://www.esa.int/
GeoCover LCTM	2000	30 × 30 м	http://www.earthsat.com/
China Global Land Cover	2012	30 × 30 м	http://www.globallandcover.com/
GEO US Global Land Cover	2013	30 × 30 м	http://landcover.usgs.gov/

Зокрема, такі карти необхідні для визначення змін та тенденцій у землекористуванні. Проект GlobCover 2009 є другим 300-м глобальним продуктом, створеним автоматизованою класифікацією на основі MERIS FR часових рядів. В основі розрахунків використовується 22 класи земного покриву, що зареєстровані і використовуються в усьому світі [6]. Основним недоліком наявного продукту є те, що він містить всі землі сільськогосподарського призначення, а не оброблювані землі для поточного року, а також має низьке просторове розрізнення та малу точність. Побудова карт на основі даних низького розрізнення спричиняє недооцінку або переоцінку площ певних типів земного покриву чи їхніх змін.

В останні роки з'явилося кілька карт [1, 4, 7], які в роботі USGS [10] названі картами «нового покоління». Як видно із табл. 1, останні три продукти отримані на основі даних середнього розрізнення (наприклад, для побудови Globe Land30-2010 використано супутникові дані «Ландсат», що покривають всю Землю з просторовим розрізненням 30 м) [10]. Для побудови карти земного покриву розроблено автоматизований підхід, який базується на злитті попільських та об'єктно-орієнтованих методів класифікації (ПОК-based). Проте одним із основних недоліків побудованої карти є те, що серед отриманих класів немає відокремлених земель сільськогосподарського призначення, що використовувалися у поточному році. Також наявні карти не враховують територіальних відмінностей, пов'язаних із кліматом та різномірністю посівів, що проявляється для території України (наприклад, пустелю в Херсонській області на карті

GlobeLand30-2010 віднесено до земель сільськогосподарського призначення) або не покривають територію України (наприклад, карти, створені у межах програми CORINE) [8].

Одним із альтернативних джерел даних рослинного покриву, що можуть використовуватися для визначення змін земного покриву, є база даних змін клімату ESA (CCI-LC). Доступні на даний момент набори даних ESA-CCI-LC охоплюють три періоди: 2000 р., 2005 р. та 2010 р. Початкові набори даних ESA CCI-LC містять в собі 22 вихідних класи, об'єднані у шість основних класів земного покриву (табл. 2), оскільки всі землі земного покриву в країнах можуть бути класифіковані за цими класами.

Для отримання оцінки змін рослинного покриву використовуються періоди CCA-LC 2000 і 2010 ESA, з акцентом на зміни тільки між шістьма основними класами земного покриву (рис. 1).

Хоча набори даних ESA CCI-LC не створено для опису змін земного покриву, проте порівняння карт двох десятиліть дозволяє ідентифікувати основні тенденції зміни земного покриву.

ФОРМУВАННЯ НАБОРУ ДАНИХ ПО ТЕРИТОРІЇ УКРАЇНИ ДЛЯ СТВОРЕННЯ КАРТ ЗЕМНОГО ПОКРИВУ

За кілька останніх років стрімко зросла кількість новітніх інструментів для отримання, збереження та обміну інформацією про навколишнє середовище — запущені супутники із просторовим розрізненням 10...300 м («Ландсат-8», PROBA-V, «Сентінель-1» та «Сентінель-2»), що призвело до накопичення великих об'ємів даних різної природи, які є цінним джерелом інформації для дослідження Землі. Оскільки в останні роки актуальною стала задача побудови карт земного покриву для великих територій з використанням даних високого просторового розрізнення, то це стало можливим завдяки появі часового ряду даних із нових супутникових апаратів.

Серед великої кількості сучасних супутників, що використовуються для картографування земного покриву, є супутники із високим просторовим розрізненням, більшість із яких є лише в платному доступі. Проте за останні роки з'явилися радарні та оптичні безкоштовні супутникові дані (табл. 3).

Таблиця 2. Перелік класів, що містяться на картах земного покриву ESA CCI-LC

Значення	Клас
1	Ліси
2	Чагарники, луки
3	Землі сільськогосподарського призначення
4	Водно-болотні угіддя та водні об'єкти
5	Штучні ділянки
6	Гола земля

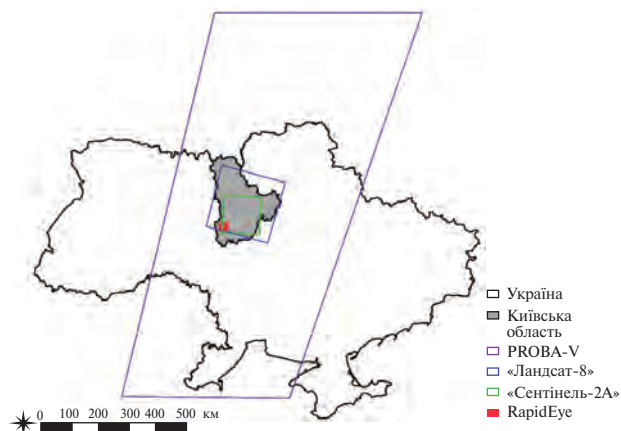


Рис. 2. Покриття частини України різними супутниковими даними

Для визначення змін земного покриття необхідно побудувати карти класифікації рослинного покриття. Для створення ретроспективних карт використовують супутникові дані «Ландсат», які покривають поверхню Землі кожні 16 днів. Проведені дослідження підтверджують ефективність застосування «Ландсат-8» для класифікації земного покриття [9, 11, 30, 35]. PROBA-V забезпечує покриття по всій планеті кожні два дні, ширина захвату однієї сцени 2250 км, що дозволяє отримувати часові ряди даних, які використовують для побудови карт земного покриття, відстеження динаміки зміни вегетації рослин та ін. [5]. При розв'язанні задачі картографування земного покриття нові можливості відкривають безкоштовні супутникові дані «Сентінель» із просторовим розрізненням 10 м, оскільки покривають територію кожні 5–6 днів [29] (рис. 2). Використання радарних та оптичних даних «Сентінель» дає можливість створювати карти нового покоління із розрізненням 10 м для точнішого визначення індикаторів деградації земель.

ПОБУДОВА КАРТ ЗЕМНОГО ПОКРИВУ, ПОРІВНЯННЯ ЇХ ІЗ НАЯВНИМИ КАРТАМИ ТА АНАЛІЗ ЗМІН ЗЕМНОГО ПОКРИВУ ДЛЯ ТЕРИТОРІЇ УКРАЇНИ

Для оцінювання динаміки зміни земного покриття на території України обрано 2000 та 2010 рр., оскільки саме ці проміжки часу є репрезентативними та дозволяють оцінити динаміку змін землекористування найбільш ефективно. При розв'язанні задачі побудови карт земного покриття території України використано дані космічних апаратів родини «Ландсат». Безкоштовні продукти обробки супутникової інформації, отримано з геоportалу геологічної служби США (United States Geological Survey) [2].

Для класифікації запропонована методологія, що передбачає використання нейромережевої класифікації часових рядів супутникових даних, на яких попередньо відновлена інформація в замарених областях, з подальшим об'єднанням отриманих карт для всієї території [15, 16, 18, 20, 21, 27, 28]. Розроблена методологія застосована для класифікації земного покриття території України за ретроспективними супутниковими даними. Використання інтелектуальних методів обробки часових рядів даних «Ландсат» дозволило забезпечити загальну точність класифікації даних за 1990, 2000 та 2010 рр. на рівні 97 % (на незалежній вибірці) (рис. 3).

Проведений аналіз показав, що загальна точність глобальних карт земного покриття поступається регіональним картам земного покриття на 10 % для 2000 р. та на 12 % для 2010 р. Особливо варто відзначити невисоку точність глобальних карт земного покриття для визначення посівних площ оброблюваних сільськогосподарських зе-

Таблиця 3. Основні характеристики космічних апаратів

Супутник	Розмір сцени або ширина захвату	Тип сенсора	Просторове розрізнення, м	Ціна
«Сентінель-1»	250 × 250 км ²	Радарний	10	Безкоштовно
«Сентінель-2»	100 км	Оптичний	10	»
«Ландсат-8»	185 × 180 км ²	»	30	»
PROBA-V	2250 км	»	100	»

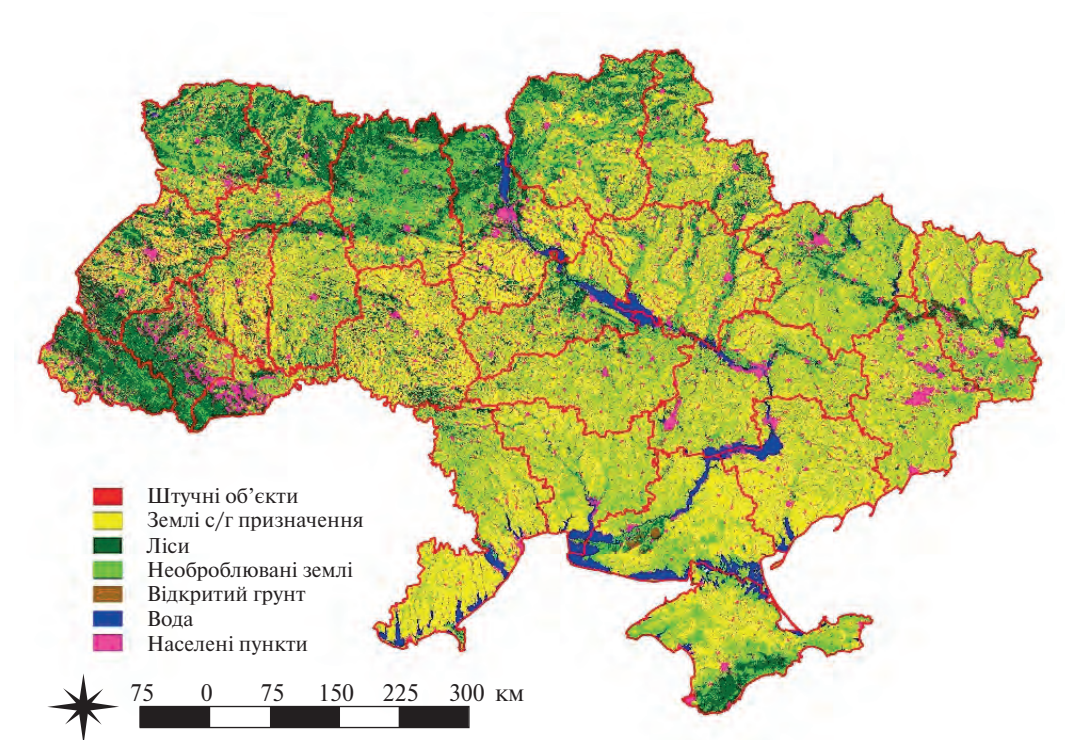


Рис. 3. Карта класифікації культур для всієї території України, на основі супутникових даних «Ландсат-5, -7» у 2010 р.

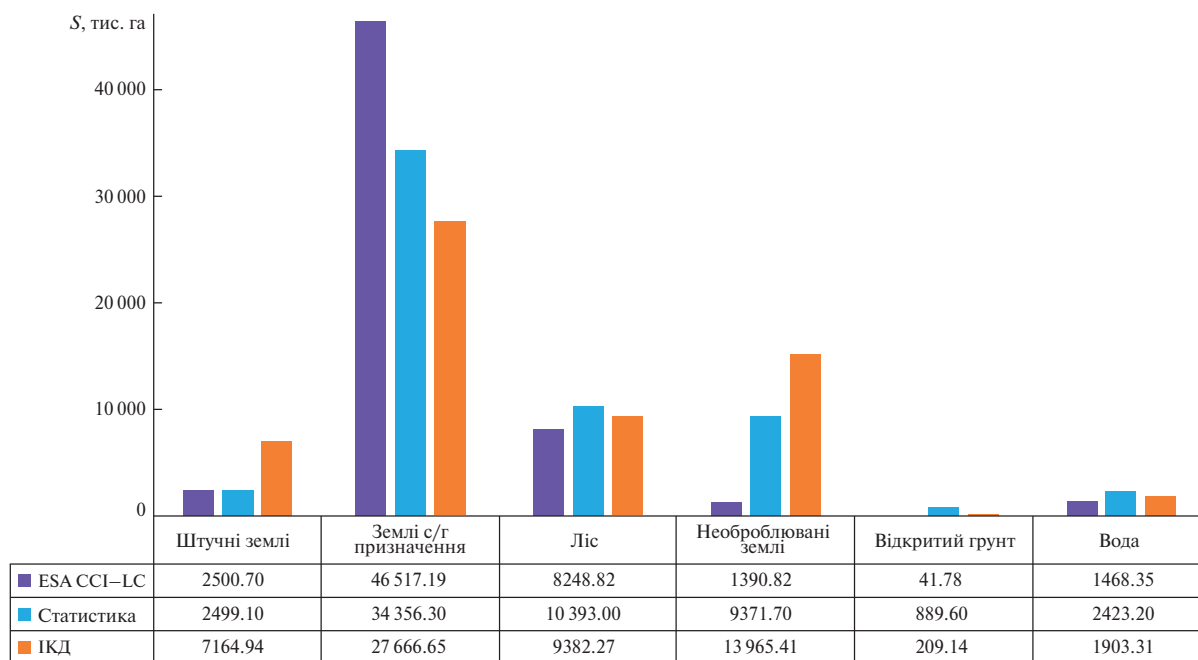


Рис. 4. Площі окремих видів земного покриву для території України у 2010 р. за глобальними та регіональними супутниковими даними (Інститут космічних досліджень), а також за даними офіційної статистики (тис. га)

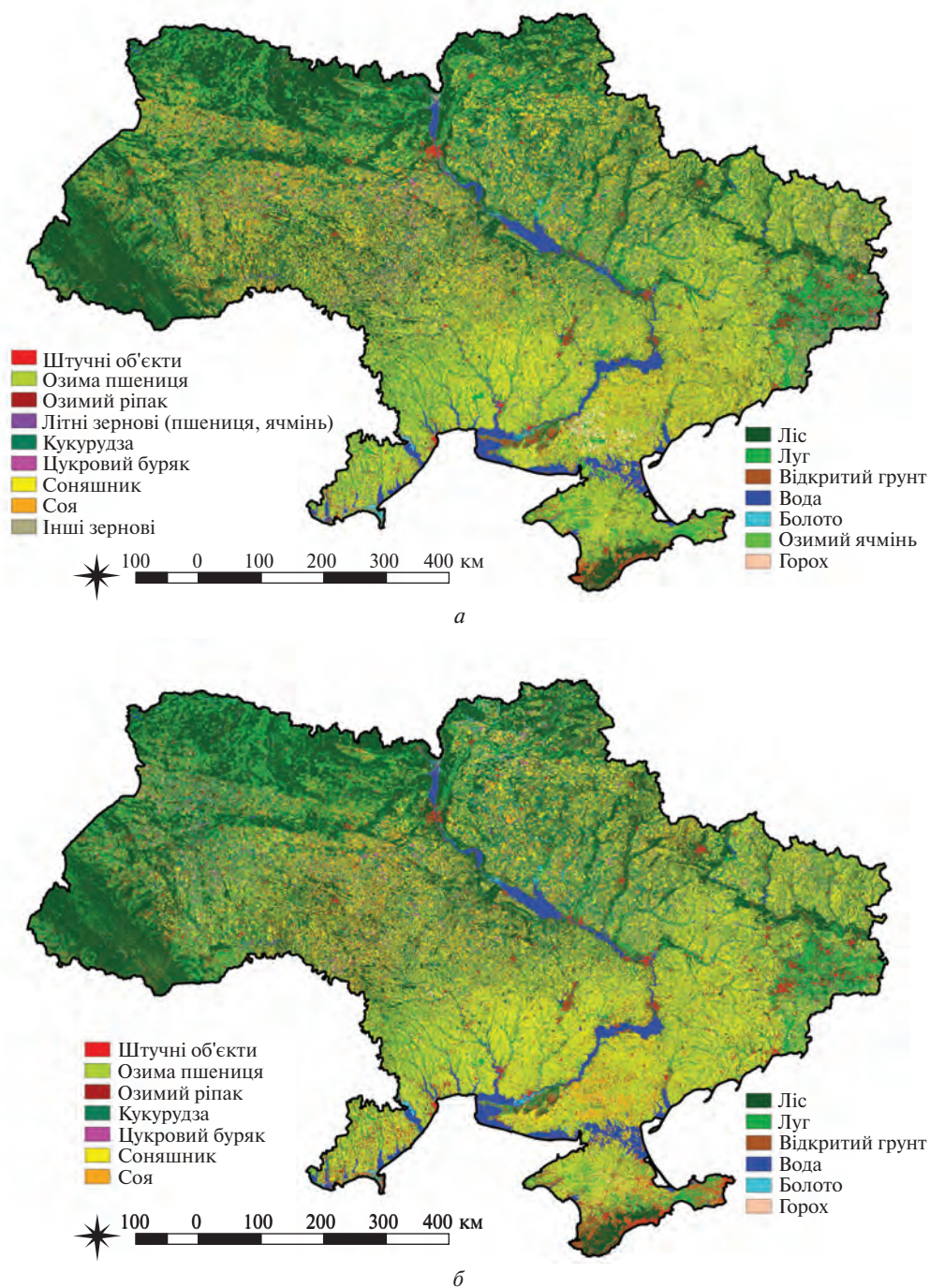


Рис. 5. Карти класифікації із 10-метровим розрізненням (у зменшеному масштабі) для території України у 2016 р. (а) та у 2017 р. (б)

мель, що обумовлено низьким просторовим розрізненням та неврахуванням специфіки сільськогосподарства України. Розбіжність площ штучних об'єктів між національними картами та офіційною статистикою можна пояснити тим, що у процесі побудови карт використовувалися маски населених пунктів (рис. 4).

Недостатня точність глобальних карт земного покриття зумовлює похибки оцінки його змін за період 2000—2010 рр. Національні історичні карти земного покриття з розрізненням 30 м дозволяють оцінити зміни земного покриття значно точніше.

Використання глобальних даних забезпечує гармонізацію та стандартизацію аналізу земного покриття і певний ступінь сумісності між країнами. Проте кожна країна повинна створювати власні карти земного покриття. Як правило, більш високе просторове розрізнення може забезпечити вищу точність, оскільки можна розрізнити менші об'єкти та їхні відмінності. Глобальна карта ніколи не буде кращою, ніж високоякісна національна карта. Національна карта створюється з використанням високоякісних вхідних даних (спутникові знімки або аерофотознімки), надійної методології, яка відповідає міжнародним стандартам і високому рівню контролю якості.

З використанням часових рядів даних «Сентінель» та розроблених методів глибинного навчання створено карти класифікації для всієї території України із просторовим розрізненням 10 м [15] (у зменшеному вигляді показані на рис. 5). Побудовані карти містять значно більше класів та мають загальну точність більше 80 %.

Побудовані карти для 2016 та 2017 років дають можливість здійснювати оцінку земного покриття на вищому рівні та досліджувати тенденцію

змін земного покриття у поєднанні із ретроспективними картами.

Кarti високого просторового розрізнення, побудовані із використанням великих об'ємів супутникових даних, дають можливість точніше оцінювати зміни землекористування, оскільки містять значно менше «змішаних» пікселів (такіх, в яких в одній точці продукту насправді може міститися суміш із різних типів землекористування) [15]. Порівняння відповідних площ для глобального та регіональних продуктів наведено у табл. 4.

Оцінка тенденцій деградації земель в поєднанні з аналізом їхніх рушійних сил є важливим кроком з точки зору розуміння нинішніх умов деградації земель, виявлення аномалій і деградованих районів. Така оцінка забезпечить наявність обґрунтованої бази даних для визначення змін земного покриття та прийняття рішень про можливі втручання і визначення пріоритетних напрямків роботи в областях з деградацією. Однак контекстуалізація і інтерпретація змін буде ключовим завданням національних і місцевих органів влади, які координують та здійснюють моніторинг для прийняття рішень.

Зміни в земному покритті можуть бути охарактеризовані як позитивні, так і негативні, при порівнянні з національною або місцевою інформацією. Деякі критичні переходи вважаються негативними (наприклад, ліси, чагарники, водноболотні угіддя на оброблюваній землі або у штучні об'єкти). Від класів земного покриття оброблюваних земель до штучних об'єктів (тобто урбанізація), а також від лісів до інших класів рослинного покриття (тобто вирубки).

Однак у виняткових обставинах дані показники можуть призвести до помилкових тверджень. Наприклад, заростання чагарниками та деревами

Таблиця 4. Приклад оцінки змін земного покриття для досліджуваної території

Значення	Переходи типів земного покриття	2000—2010 рр.		2000—2016 рр.
		ІКД, тис. га	ESA CCI-LC, тис. га	ІКД, тис. га
12	Ліс в необроблюваній землі	222.02	8.15	278.29
13	Ліс в оброблюваній землі	17.001	22.93	84.04
16	Ліс в голу землю	7.76	0.74	10.93

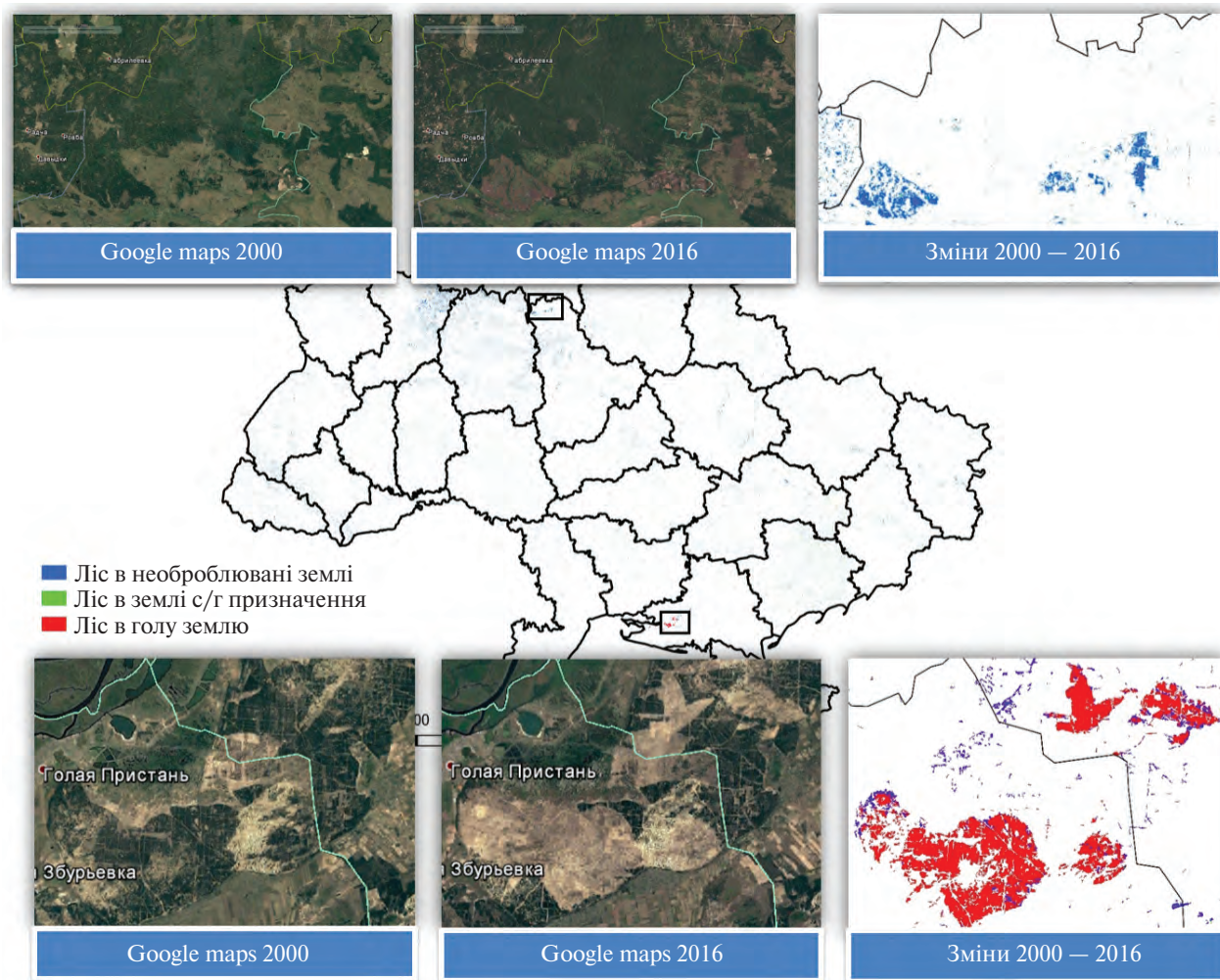


Рис. 6. Зміни земного покриття (2000–2016 роки)

(тобто зміна ґрунтового покриття від пасовищ до чагарників) у посушливих районах часто призводить до втрати природного капіталу із меншою кількістю рослин для випасу худоби і дикої природи. Такі зміни вважаються деградацією земель.

Як правило, проблемні області добре відомі національним міністерствам сільського господарства і дослідницьким центрам і можуть бути легко ідентифіковані на загальнодоступних серверах супутникових даних із високим просторовим розрізненням, таких як Google Earth. Використання карт земного покриття дає можливість ідентифікувати місця, де відбуваються зміни, та визначити їхню тенденцію, підрахувати площі та провести аналіз для прийняття рішень. Напри-

клад, використовуючи карти земного покриття 2016 та 2000 рр., можемо ідентифікувати основні проблеми на території України, місця, де відбуваються масштабні зміни земного покриття. Одна із найбільших територій в Україні, де відбувається опустелювання земель (перехід лісів у голу землю), розташована в Херсонській області (рис. 6).

Іншим прикладом є перехід лісів у необроблювані землі на півночі Київської області. Причин для такої деградації та змін може бути декілька, зміни клімату у бік потепління із кожним роком, господарська діяльність людей, пожежі та ін.

Якщо порівняти площі лісів, отримані на основі національних карт земного покриття, із статистикою за три роки (2000, 2010 та 2016 рр.), то

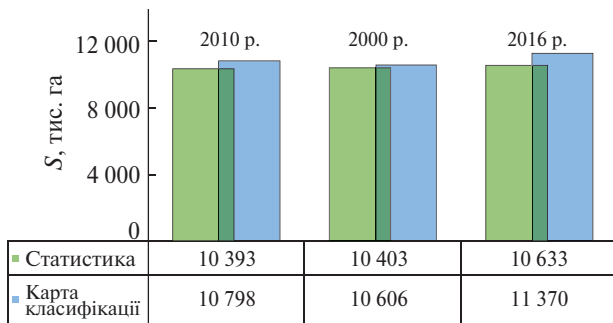


Рис. 7. Площа лісів по всій території України (тис. га)

видно, що площі, отримані на онові карт класифікації, систематично більші, особливо за 2016 р. (рис. 7). Це пояснюється тим, що на карті, окрім задекларованих лісів різного типу, є деревні насадження (лісосмуги, сади та ін.). У 2016 р. площа значно вища, ніж у попередні роки, можливими причинами цього є збільшення загальних запасів насаджень Державного агентства лісових ресурсів України (де спостерігається постійна динаміка зросту) [3], а також те, що карта в 2016 р. має просторове розрізнення 10 м, що дає можливість ідентифікувати всі дерева (у містах, селах і т. д.).

ВИСНОВКИ

Зміни земного покриття, що виникають протягом кількох десятиліть на території України, є результатом комплексної дії різномірних факторів. Не володіючи інформацією про тренди змін земного покриття, площі та регіони, в яких відбуваються зміни, неможливо прийняти правильні рішення на національному або регіональному рівні. Оскільки точність побудованої карти земного покриття впливає на виявлення змін земного покриття, важливою є обробка великих об'ємів супутникових даних із використанням високопродуктивних обчислень [14, 19, 22, 23] та відповідного математичного апарату. Використовуючи власну методологію класифікації земного покриття на основі даних високого просторового розрізнення супутників «Сентінель-1» та «Сентінель-2» створено карти земного покриття для всієї території України, які відкривають нові можливості для вирішення моніторингових задач при виявленні деградації земель [15, 17, 24,

32]. Розроблена технологія дає можливість створювати карти земного покриття із просторовим розрізненням 10 м кожного року, що є ключовим моментом в оцінці трендів змін земного покриття для території України.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Geonportal* ESA CCI Land Cover products: a new generation of satellite-derived global land cover products [Електронний ресурс] / Режим доступу : <http://maps.elie.ucl.ac.be/CCI/viewer/index.php>.
2. *Geonportal* Геологічної служби США (United States Geological Survey) [Електронний ресурс] / Режим доступу : <http://earthexplorer.usgs.gov>.
3. Державне агентство лісових ресурсів України [Електронний ресурс] / Режим доступу : http://dklg.kmu.gov.ua/forest/control/uk/publish/article;jsessionid=CDD57B4213360D89C901AC1D51FA9E94?art_id=101934&cat_id=32876.
4. Шелестов А. Ю., Яйлимов Б. Я. Стан моніторингу фактичного використання сільськогосподарських земель в провідних країнах на основі супутникових даних // Укр. журн. дистанційного зондування Землі. — 2017. — № 12. — С. 59—66.
5. Atzberger C., Formaggio A., Shimabukuro Y., Udelhoven T., Mattiuzzi M., Sanchez G., Arai E. Obtaining crop-specific time profiles of NDVI: the use of unmixing approaches for serving the continuity between SPOT-VGT and PROBA-V time series // Int. J. Remote Sensing. — 2014. — **35**, N 7. — P. 2615—2638.
6. Bontemps S., Defourny P., Van E. Bogaert GLOBCOVER 2009-Products description and validation report // ESA. — 2010. — P. 1—30.
7. Chen J., Liao A., Cao X., et al. Global land cover mapping at 30m resolution: A POK-based operational approach // ISPRS J. Photogrammetry and Remote Sens. — 2015. — **103**. — P. 7—27.
8. CORINE Land Cover. [Електронний ресурс] / Режим доступу : <http://www.eea.europa.eu/publications/COR0-landcover>.
9. Gallego F. J., Delincé J., Rueda C. Crop area estimates through remote sensing: stability of the regression correction // Int. J. Remote Sensing. — 1993. — **14**, N 18. — P. 3433—3445.
10. Giri A. C., Pengra B., Long J., Loveland T. Next generation of global land cover characterization, mapping, and monitoring // Int. J. Appl. Earth Observation and Geoinform. — 2013. — **25**. — P. 30—37.
11. Jia K., et al. Land cover classification using Landsat 8 operational land imager data in Beijing, China // Geocarto International. — 2014. — **29**, N 8. — P. 941—951.
12. Kogan F., Kussul N., Adamenko T., Skakun S., Kravchenko O., Kryvobok O., Shelestov A., Kolotii A.,

- Kussul O., Lavrenyuk A. Winter wheat yield forecasting: A comparative analysis of results of regression and biophysical models // J. Automation and Information Sci. — 2013. — **45**, N 6. — P. 68–81.
13. Kolotii A., Kussul N., Shelestov A., Skakun S., Yailymov B., Basarab R., Lavreniuk M., Oliynyk T., Ostapenko V. Comparison of biophysical and satellite predictors for wheat yield forecasting in Ukraine // Int. Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sci. — 2015. — P. 39–44.
14. Kravchenko A., Kussul N., Lupian E., Savorsky V., Hluchy L., Shelestov A. Water resource quality monitoring using heterogeneous data and high-performance computations // Cybernetics and Systems Analysis. — 2008. — **44**, N 4. — P. 616–624. — DOI:10.1007/s10559-008-9032-x.
15. Kussul N., Lavreniuk M., Skakun S., Shelestov A. Deep Learning Classification of Land Cover and Crop Types Using Remote Sensing Data // IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters. — 2017. — **12**, N 5. — P. 778–782. — DOI: 10.1109/LGRS.2017.2681128.
16. Kussul N., Lavreniuk N., Shelestov A., Yailymov B., Butko I. Land Cover Changes Analysis Based on Deep Machine Learning Technique // J. Automation and Information Sci. — 2016. — **48**, N 5. — P. 42–54. — DOI: 10.1615/JAutomatInfScien.v48.i5.40.
17. Kussul N., Lemoine G., Gallego J., Skakun S., Lavreniuk M., Shelestov A. Parcel-based Crop Classification in Ukraine Using Landsat-8 Data and Sentinel-1A Data // IEEE J. Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing. — 2016. — **9**, N 6. — P. 2500–2508. — DOI: 10.1109/JSTARS.2016.2560141.
18. Kussul N., Lemoine G., Gallego J., Skakun S., Lavreniuk M. Parcel based classification for agricultural mapping and monitoring using multi-temporal satellite image sequences // The International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), 2015 IEEE International. — 2015. — P. 165–168. — DOI: 10.1109/IGARSS.2015.7325725.
19. Kussul N., Shelestov A., Basarab R., Skakun S., Kussul O., Lavreniuk M. Geospatial intelligence and data fusion techniques for sustainable development problems // 11th International Conference on ICT in Education, Research and Industrial Applications: Integration, Harmonization and Knowledge Transfer, ICTERI 2015 (14–16 May 2015, Lviv, Ukraine). — 2015. — P. 196–203.
20. Kussul N., Shelestov A., Basarab R., Yailymov B., Lavreniuk M., Kolotii A. High resolution land cover for Ukraine // Space research in Ukraine. - January 2016. — P. 44–47.
21. Kussul N., Shelestov A., Lavreniuk M., Skakun S. Deep Learning Approach For Large Scale Land Cover Mapping Based On Remote Sensing Data Fusion // Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), 2016 IEEE International — 2016. — P. 198–201. — DOI: 10.1109/IGARSS.2016.7729043.
22. Kussul N., Shelestov A., Skakun S. Grid technologies for satellite data processing and management within international disaster monitoring projects // Grid and Cloud Database Management. — 2011. — P. 279–305.
23. Kussul N., Shelestov A., Skakun S., Kravchenko O. High-performance intelligent computations for environmental and disaster monitoring // Int. J. Information Technologies & Knowledge. — 2009. — **3**. — P. 135–156.
24. Kussul N., Skakun S., Shelestov A., Kussul O. The use of satellite SAR imagery to crop classification in Ukraine within JECAM project // IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS). — 2014. — P. 1497–1500.
25. Kussul N., Skakun S., Shelestov A., Lavreniuk M., Yailymov B., Kussul O. Regional scale crop mapping using multi-temporal satellite imagery // International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences. — 2015. — P. 45–52.
26. Land Degradation Neutrality. [Електронний ресурс] / Режим доступу : <http://www2.unccd.int/issues/land-sdgs/land-degradation-neutrality>.
27. Lavreniuk M., Kussul N., Skakun S., Shelestov A., Yailymov B. Regional Retrospective High Resolution Land Cover For Ukraine: Methodology And Results // International Geoscience and Remote Sensing Symposium 2015 (IGARSS 2015), N 15599383. — P. 3965–3968. — DOI: 10.1109/IGARSS.2015.7326693.
28. Lavreniuk M., Skakun S., Shelestov A., Yailymov B., Yanchevskii S., Yashuk D., Kostetskiy A. Large-Scale Classification of Land Cover Using Retrospective Satellite Data // Cybernetics and Systems Analysis. — 2016. — **52**, N 1. — P. 127–138. — DOI: 10.1007/s10559-016-9807-4.
29. Malenovsky Z., Rott H., Cihlar J., Schaepman M., García-Santos G., Fernandes R., Berger M. Sentinels for science: Potential of Sentinel-1,-2, and-3 missions for scientific observations of ocean, cryosphere, and land // Remote Sensing of Environment. — 2012. — **120**. — P. 91–101.
30. Roy D., Wulder M., Loveland T., et al. Landsat-8: Science and product vision for terrestrial global change research // Remote Sensing of Environment. — 2014. — **145**. — P. 154–172.
31. Shelestov A., Kolotii A., Camacho F., Skakun S., Kussul O., Lavreniuk M., Kostetsky O. Mapping of biophysical parameters based on high resolution EO imagery for JECAM test site in Ukraine // Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), 2015 IEEE International — P. 1733–1736.
32. Skakun S., Kussul N., Shelestov A., Lavreniuk M., Kussul O. Efficiency Assessment of Multitemporal C-Band Radarsat-2 Intensity and Landsat-8 Surface Reflectance Satellite Imagery for Crop Classification in Ukraine // IEEE J. Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing. — 2015. — DOI: 10.1109/JSTARS.2015.2454297.

33. UNCCD. 2015. Report of the Conference of the Parties on its twelfth session, held in Ankara from 12 to 23 October 2015. Part two: Actions. ICCD/COP(12)/20/Add.1. United Nations Convention to Combat Desertification (UNCCD), Bonn. See Decision3/COP.12, page 8. Available at: http://www.unccd.int/Lists/OfficialDocuments/cop12/20add_leng.pdf
34. Waldner F., Kussul N., Guerric le Maire, Dupuy S. Towards a set of agrosystem-specific cropland mapping methods to address the global cropland diversity // Int. J. Remote Sensing. — 2016. — **37**14, N 14. — P. 3196—3231. — DOI: 10.1080/01431161.2016.1194545.
35. Zhong L., Gong P., Biging G. Efficient corn and soybean mapping with temporal extendability: a multi-year experiment using landsat imagery // Remote Sensing Environ. — 2014. — **140**. — P. 1—13.

Стаття надійшла до редакції 12.01.18

REFERENCES

1. Heoportel ESA CCI Land Cover products: a new generation of satellite-derived global land cover products [Elektronnyj resurs] / Rezhym dostupu : <http://maps.elie.ucl.ac.be/CCI/viewer/index.php>.
2. United States Geological Survey. [Elektronnyj resurs] / Rezhym dostupu : <http://earthexplorer.usgs.gov>.
3. Derzhavne ahentstvo lisovykh resursiv Ukrainy [Elektronnyj resurs] / Rezhym dostupu : http://dklg.kmu.gov.ua/forest/control/uk/publish/article?jsessionid=CDD57B4213360D89C901AC1D51FA9E94?art_id=101934&cat_id=32876.
4. Shelestov A., Yailymov B. Stan monitorynhu faktychnoho vykorystannia sil'skohospodars'kykh zemel' v providnykh krainakh na osnovi suputnykovykh danykh. Ukrains'kyj zhurnal dystantsijnoho zonduvannia Zemli, 2017, N 12, P. 59—66. [in Ukrainian]
5. Atzberger C., Formaggio A., Shimabukuro Y., Udelhoven T., Mattiuzzi M., Sanchez G., Arai E. Obtaining crop-specific time profiles of NDVI: the use of unmixing approaches for serving the continuity between SPOT-VGT and PROBA-V time series. International Journal of Remote Sensing, 2014, Vol. 35, No. 7, P. 2615—2638.
6. Bontemps S., Defourny P., Van E. Bogaert GLOBCOVER 2009-Products description and validation report. ESA, 2010, P. 1—30.
7. Chen J., Liao A., Cao X., et al. Global land cover mapping at 30m resolution: A POK-based operational approach. ISPRS J. Photogrammetry and Remote Sens, 2015, Vol. 103, P. 7—27.
8. CORINE Land Cover [Elektronnyj resurs] / Rezhym dostupu: <http://www.eea.europa.eu/publications/COR0-landcover>.
9. Gallego F. J., Delincé J., Rueda C. Crop area estimates through remote sensing: stability of the regression correction. International Journal of Remote Sensing, 1993, Vol. 14, No.18, P. 3433—3445.
10. Giria C., Pengrab B., Longc J., Lovelanda T. Next generation of global land cover characterization, mapping, and monitoring, Int. J. Appl. Earth Observation and Geoinform, 2013, Vol. 25, P. 30—37.
11. Jia K., et al. Land cover classification using Landsat 8 operational land imager data in Beijing, China. Geocarto International, 2014, Vol. 29, No 8, P. 941—951.
12. Kogan F., Kussul N., Adamenko T., Skakun S., Kravchenko O., Kryvobok O., Shelestov A., Kolotii A., Kussul O., Lavrenyuk A. Winter wheat yield forecasting: A comparative analysis of results of regression and biophysical models. Journal of Automation and Information Sciences, 2013, Vol. 45, No. 6, P. 68–81.
13. 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. International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences, 2015, P. 39—44.
14. Kravchenko A., Kussul N., Lupian E., Savorsky V., Hluchy L., Shelestov A. Water resource quality monitoring using heterogeneous data and high-performance computations. Cybernetics and Systems Analysis, 2008, Vol. 44, No. 4, P. 616—624. DOI:10.1007/s10559-008-9032-x.
15. Kussul N., Lavreniuk M., Skakun S., Shelestov A. Deep Learning Classification of Land Cover and Crop Types Using Remote Sensing Data. IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, 2017, Vol. 12, No. 5, P. 778—782. DOI: 10.1109/LGRS.2017.2681128.
16. Kussul N., Lavreniuk N., Shelestov A., Yailymov B., Butko I. Land Cover Changes Analysis Based on Deep Machine Learning Technique, Journal of Automation and Information Sciences. 2016, Vol. 48, No. 5, P. 42—54. DOI: 10.1615/JAutomatInfScien.v48.i5.40.
17. Kussul N., Lemoine G., Gallego J., Skakun S., Lavreniuk M., and Shelestov A. Parcel-based Crop Classification in Ukraine Using Landsat-8 Data and Sentinel-1A Data. 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.
18. Kussul N., Lemoine G., Gallego J., Skakun S., Lavreniuk M. Parcel based classification for agricultural mapping and monitoring using multi-temporal satellite image sequences. The International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), 2015 IEEE International, 2015, P. 165—168. DOI: 10.1109/IGARSS.2015.7325725.
19. Kussul N., Shelestov A., Basarab R., Skakun S., Kussul O., Lavreniuk M. Geospatial intelligence and data fusion techniques for sustainable development problems. 11th International Conference on ICT in Education, Research and Industrial Applications: Integration, Harmonization and Knowledge Transfer, ICTERI 2015 (14—16 May 2015, Lviv, Ukraine), 2015, Vol.1356, P. 196—203.
20. Kussul N., Shelestov A., Basarab R., Yailymov B., Lavreniuk M., Kolotii A. High resolution land cover for Ukraine. Space research in Ukraine, January 2016, P. 44—47.

21. Kussul N., Shelestov A., Lavreniuk M., Skakun S. Deep Learning Approach For Large Scale Land Cover Mapping Based On Remote Sensing Data Fusion. Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), 2016 IEEE International, 2016, P. 198—201. DOI: 10.1109/IGARSS.2016.7729043.
22. Kussul N., Shelestov A., Skakun S. Grid technologies for satellite data processing and management within international disaster monitoring projects. Grid and Cloud Database Management, 2011, P. 279—305.
23. Kussul N., Shelestov A., Skakun S., Kravchenko O. High-performance intelligent computations for environmental and disaster monitoring. Int. J. Information Technologies & Knowledge, 2009, Vol. 3, P. 135—156.
24. Kussul N., Skakun S., Shelestov A., Kussul O. The use of satellite SAR imagery to crop classification in Ukraine within JECAM project, IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), 2014, P. 1497—1500.
25. Kussul N., Skakun S., Shelestov A., Lavreniuk M., Yailymov B., Kussul O. Regional scale crop mapping using multi-temporal satellite imagery, International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences, 2015, P. 45—52.
26. Land Degradation Neutrality. [Elektronnyj resurs] / Rezhym dostupu : <http://www2.unccd.int/issues/land-sdgs/land-degradation-neutrality>.
27. Lavreniuk M., Kussul N., Skakun S., Shelestov A., Yailymov B. Regional Retrospective High Resolution Land Cover For Ukraine: Methodology And Results. International Geoscience and Remote Sensing Symposium 2015 (IGARSS 2015), № 15599383, P. 3965—3968. DOI: 10.1109/IGARSS.2015.7326693.
28. Lavreniuk M., Skakun S., Shelestov A., Yailymov B., Yanchevskii S., Yashuk D., Kostetskiy A. Large-Scale Classification of Land Cover Using Retrospective Satellite Data. Cybernetics and Systems Analysis, 2016, Vol 52, No 1, P. 127—138. DOI: 10.1007/s10559-016-9807-4.
29. Malenovsky Z., Rott H., Cihlar J., Schaepman M., García-Santos G., Fernandes R., Berger M. Sentinels for science: Potential of Sentinel-1, -2, and -3 missions for scientific observations of ocean, cryosphere, and land. Remote Sensing of Environment, 2012, Vol. 120, P. 91—101.
30. Roy D., Wulder M., Loveland T., et al. Landsat-8: Science and product vision for terrestrial global change research. Remote Sensing of Environment, 2014, Vol. 145, P. 154—172.
31. Shelestov A., Kolotii A., Camacho F., Skakun S., Kussul O., Lavreniuk M., Kostetskiy O. Mapping of biophysical parameters based on high resolution EO imagery for JECAM test site in Ukraine. Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), 2015 IEEE International, P. 1733—1736.
32. Skakun S., Kussul N., Shelestov A., Lavreniuk M., Kussul O. Efficiency Assessment of Multitemporal C-Band Radarsat-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. DOI: 10.1109/JSTARS.2015.2454297.
33. UNCCD. 2015. Report of the Conference of the Parties on its twelfth session, held in Ankara from 12 to 23 October 2015. Part two: Actions. ICCD/COP(12)/20/Add.1. United Nations Convention to Combat Desertification (UNCCD), Bonn. See Decision3/COP.12, page 8. Available at: <http://www.unccd.int/Lists/OfficialDocuments/cop12/20add1eng.pdf>
34. Waldner F., Kussul N., Guerric le Maire, Dupuy S. Towards a set of agrosystem-specific cropland mapping methods to address the global cropland diversity. International Journal of Remote Sensing, July 2016, Vol. 3714, No 14, P. 3196—3231. DOI: 10.1080/01431161.2016.1194545.
35. Zhong L., Gong P., Biging G. Efficient corn and soybean mapping with temporal extendability: a multi-year experiment using landsat imagery. Remote Sensing Environ, 2014, Vol. 140, P. 1—13.

Received 12.01.18

Б. Я. Яйлимов¹, Н. С. Лавренюк^{1,2}, А. Ю. Шелестов^{1,2},
А. В. Колотий^{1,2}, А. А. Яйлимова³, О. П. Федоров¹

¹ Институт космических исследований Национальной академии наук Украины и Государственного космического агентства Украины, Киев, Украина

² Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского», Киев, Украина

³ Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко, Киев, Украина

МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СУЩЕСТВЕННЫХ ПЕРЕМЕННЫХ ДЛЯ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ЗЕМНОГО ПОКРОВА

Проведены исследования и описаны методы определения индикаторов деградации земель. Исследования в рамках работы позволяют сформулировать методы получения количественных оценок землепользования и их изменений для территории Украины. Для оценки изменений земного покрова проведен анализ наличных источников данных для территории Украины. Рассмотрены наборы данных по территории Украины для создания карт земного покрова и методики оценки почвенно-растительного покрова, в частности для оценки степени деградации земель и обеспечения уровня LDN (Land Degradation Neutrality) при поддержке ООН. Для оценки динамики изменения земного покрова на территории Украины выбраны 2000, 2010 и 2016 гг. В качестве источников данных, использованы собственные карты, созданные по разработанной методологии, предусматривающей использование нейросетевой классификации

временных рядов спутниковых данных. Для 2000 и 2010 гг. карты земного покрова с пространственным разрешением 30 м для всей территории Украины созданы на основе снимков «Ландсат-4, -5, -7» в рамках проекта FP-7 SIGMA. Проведенный анализ показал, что общая точность глобальных карт земного покрова уступает региональным картам земного покрова на 10 % для 2000 и на 12 % для 2010. Для 2016 г. создана карта на основе спутниковых данных «Сентинель» с пространственным разрешением 10 м. С использованием созданных карт оценены изменения земного покрова для 2000—2010 и 2000—2016 гг. Оценка проводилась для таких типов земного покрова: лес — в необрабатываемые земли, лес — в обрабатываемые земли, лес — в голую землю. Идентифицированы основные проблемы на территории Украины, а именно места, где происходят масштабные изменения земного покрова. Также оценены значения площади для каждого из переходов. Сравнены площади лесов, полученные на основе национальных карт земного покрова за три года (2000, 2010 и 2016 гг.) со статистической информацией.

Ключевые слова: существенные переменные, карта земного покрова, спутниковые данные, деградация земель.

B. Ya. Yailymov¹, M. S. Lavreniuk^{1,2}, A. Yu. Shelestov^{1,2}, A. V. Kolotii^{1,2}, H. O. Yailymova³, O. P. Fedorov¹

¹ Space Research Institute of the National Academy of Science of Ukraine and the National Space Agency of Ukraine, Kyiv, Ukraine

² National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine

³ Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine

METHODS OF ESSENTIAL VARIABLES DETERMINATION FOR THE EARTH'S SURFACE STATE ASSESSING

In this paper, we describe the results and the methodology for a definition of land degradation indicators. The con-

ducted work allowed us to specify the methods for obtaining quantitative estimates of land use as well as to estimate the land cover change for the territory of Ukraine over the period of time. An analysis of existing datasets for the territory of Ukraine was carried out to estimate the changes of the land cover. The sets of data over the territory of Ukraine were investigated for the creation of land cover maps as well as for methods of vegetation state assessment, in particular, for assessing land degradation and LDN (Land Degradation Neutrality) supported with the UN Convention to the Combat Desertification. As the national datasets for assessment of land cover changes dynamics, the land cover maps at the territory of Ukraine for 2000, 2010 and 2016 are considered. As the data sources, the maps developed at the Space Research Institute of Ukraine are used. These maps were created using the neural network classification of the time series of satellite data. For 2000 and 2010, the land cover maps have a spatial resolution of 30 m for the entire territory of Ukraine. They were created on the basis of the Landsat-4/5/7 satellite imagery within the framework of the SIGMA FP-7 project. The performed analysis showed that the overall accuracy of global land cover maps is lower as compare with the regional land cover maps by 10 % for 2000 and by 12 % for 2010. For 2016, the land cover map was created with the use of satellite data from the Sentinel constellation with a spatial resolution of 10 m. An analysis of land cover changes for 2000-2010 and 2000-2016 shows the following signs of land degradation (negative trends) at the territory of Ukraine: transitions of forest to the uncultivated land (non-cropland), transitions of forest to the cultivated land (cropland), transitions of forest to the bare land. The main problems of land degradation in Ukraine were identified, namely the places where significant land cover changes took place. The analysis of land cover change areas over the specified period of time was performed for each type of transition. We present also the results of a cross-comparison of forest areas obtained from the national land cover maps with statistics for three years (2000, 2010 and 2016).

Keywords: essential variables, land cover map, satellite data, land degradation.