

УДК 004.62;004.93

*Н.М. Куссуль, А.Ю. Шелестов, Б.Я. Яйлимов, О.П. Федоров,
Г.О. Яйлимова, С.В. Скакун, Л.Л. Шуміло, Л.М. Колос, О.О. Дякун*

ОЦІНКА ЦІЛЕЙ СТАЛОГО РОЗВИТКУ В МЕЖАХ ЄВРОПЕЙСЬКОЇ ДОСЛІДНИЦЬКОЇ МЕРЕЖІ (ERA-PLANET)

Куссуль Наталія Миколаївна

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Інститут космічних досліджень НАН України та ДКА України, Київ, <https://orcid.org/0000-0002-9704-9702>,

nataliia.kussul@gmail.com

Шелестов Андрій Юрійович

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Інститут космічних досліджень НАН України та ДКА України, Київ, <https://orcid.org/0000-0001-9256-4097>,

andrii.shelestov@gmail.com

Яйлимов Богдан Ялкапович

Інститут космічних досліджень НАН України та ДКА України, Київ, <https://orcid.org/0000-0002-2635-9842>,

yailyimov@gmail.com

Федоров Олег Павлович

Інститут космічних досліджень НАН України та ДКА України, Київ, <https://orcid.org/0000-0002-0245-6509>,

oleh.fedorov@gmail.com

Яйлимова Ганна Олексіївна

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Інститут космічних досліджень НАН України та ДКА України, Київ, <https://orcid.org/0000-0001-6116-8294>,

anna.yailyimova@gmail.com

Скакун Сергій Васильович

Університет Меріленду, США, <https://orcid.org/0000-0002-9039-0174>,

serhiy.skakun@gmail.com

Шуміло Леонід Леонідович

Університет Меріленду, США, <https://orcid.org/0000-0002-7395-7933>,

shumilo.leonid@gmail.com

© Н.М. КУССУЛЬ, А.Ю. ШЕЛЕСТОВ, Б.Я. ЯЙЛИМОВ, О.П. ФЕДОРОВ, Г.О. ЯЙЛИМОВА,
С.В. СКАКУН, Л.Л. ШУМИЛО, Л.М. КОЛОС, О.О. ДЯКУН, 2023

*Міжнародний науково-технічний журнал
Проблеми керування та інформатики, 2023, № 1*

Колос Людмила Миколаївна

Інститут космічних досліджень НАН України та ДКА України, Київ, <https://orcid.org/0000-0002-3616-271X>,

kolos.ludmyla@gmail.com

Дякун Олексій Олегович

Інститут космічних досліджень НАН України та ДКА України, Київ,

alexeydiakun@gmail.com

Цілі сталого розвитку (ЦСР), також відомі як глобальні цілі, прийняті Організацією Об'єднаних Націй у 2015 р. як універсальний заклик до дій щодо подолання бідності, захисту планети, забезпечення миру та покращення якості життя всіх людей до 2030 р. Цілі розвитку спрямовані на те, щоб до 2030 р. покінчити з усіма формами голоду, щоб усі люди отримували достатню кількість поживної їжі протягом усього року. Це сприятиме сталому сільському господарству, підтримці дрібних фермерів і рівному доступу до землі, технологій і ринків. Окрім цього, важливо вжити термінові заходи, щоб зменшити втрату природних середовищ існування та біорізноманіття, які є частиною нашої спільної спадщини та підтримують глобальну продовольчу та водну безпеку, пом'якшують наслідки зміни клімату та адаптацію до них, а також забезпечують мир і безпеку. Задля розвитку цього напрямку в Україні, в межах Європейського проєкту ERA-PLANET програми Horizon 2020 «Європейська мережа для дослідження нашої планети», використовуються дані спостереження Землі та супутникові дані для моніторингу ефективності використання природних ресурсів, а також для оцінки прогресу в досягненні ЦСР. У даному дослідженні розроблені технології обрахунку трьох конкретних індикаторів, а саме: 2.4.1. «Частка сільськогосподарських площ з продуктивним і сталим сільським господарством»; 15.1.1 «Площа лісів як частка загальної площі земного покриву»; 15.3.1 «Частка землі, яка деградувала відносно загальної площі земного покриву». Основна проблема, яку вирішують автори для території України, пов'язана з відсутністю якісних наборів даних, їх низьким просторовим розрізненням і меншою точністю порівняно з регіональними продуктами. Запропоновано нову вдосконалену методологію для обчислення карти продуктивності землі на основі супутникових даних високого просторового розрізнення.

Ключові слова: цілі сталого розвитку (ЦСР), індикатор, динаміка продуктивності земель, зміни клімату, вегетаційні індекси, супутникові дані, класифікація.

Вступ

Проєкт ERA-PLANET програми Horizon 2020 «The European Network for Observing our Changing Planet» («Європейська мережа для дослідження нашої планети») є внеском європейської спільноти в розв'язання задачі оцінювання досягнення цілей сталого розвитку (ЦСР — Sustainable Development Goal), виконання Паризької кліматичної угоди та Сендайської рамки зі зменшення ризику стихійних лих (Sendai Framework for Disaster Risk Reduction). Один з чотирьох напрямів ERA-PLANET — проєкт GEOEssential [1], який належить до проєктів з моніторингу ресурсоефективності та екологічного менеджменту. В межах цього проєкту дані спостереження Землі і, зокрема, супутникові дані використовуються для моніторингу ефективності використання природних ресурсів, а також для оцінки прогресу в досягненні ЦСР. Основними задачами досліджень ІКД НАН України та ДКА України в цьому проєкті є внесок в оцінювання ЦСР та ви-

рішення таких проблем у сільському господарстві: подолання голоду, досягнення продовольчої безпеки та покращення харчування, сприяння сталому сільському господарству, яке спрямоване на забезпечення стійких систем виробництва продуктів харчування, та впровадження стійких сільськогосподарських практик [2]. У даному дослідженні основна увага приділяється трьом конкретним індикаторам а саме:

- 2.4.1. «Частка сільськогосподарських площ з продуктивним і сталим сільським господарством»;
- 15.1.1. «Площа лісів як частка загальної площі земного покриву»;
- 15.3.1. «Частка землі, яка деградувала відносно загальної площі земного покриву».

У Програмі глобальної підтримки (Global Support Program) та Програмі підтримки безпеки (Security Assistance Program) створено пілотний проєкт, підтриманий комітетом ООН для боротьби з опустелюванням, з метою досягнення нейтральності деградації земель (Land Degradation Neutrality). Мета нейтральної деградації земель полягає в підтримці або збільшенні природного капіталу землі та пов'язаних з ними послуг за рахунок ресурсів екосистеми. Зміна ґрунтового покриву (Land Cover Change), динаміка продуктивності земель (Land Productivity Dynamics) і запас органічного вуглецю (Soil Organic Carbon) обрані як підіндикатори для оцінки індикатора 15.3.1 (ЦСР). Зміни ґрунтового покриву, оцінені на основі набору даних земного покриву Європейського космічного агентства, Ініціативи з оцінювання зміни клімату (ESA Climate Change Initiative) та набору даних з оцінки зміни продуктивності земель Об'єднаного дослідницького центру (LPD EC Joint Research Centre), використовуються як джерела для оцінки продуктивності земель [3]. Основними проблемами, пов'язаними з цими наборами даних, є низьке просторове розрізнення і менша точність порівняно з регіональними продуктами [4, 5].

Отже, мета цього дослідження — заповнити вищезазначену прогалину шляхом вдосконалення розрахунку показників ЦСР за допомогою використання даних середнього та високого просторового розрізнення [6, 7]. Основна ціль полягає в тому, щоб застосувати та вдосконалити методи, які використовувалися для створення глобальних продуктів із даними з низьким просторовим розрізненням, до даних з більшим просторовим розрізненням, що краще підходять для регіональних продуктів та програм. Для обчислення обраних індикаторів ЦСР використано зв'язок «їжа–вода–енергія» на основі супутникових даних [8], даних наземних спостережень, вегетаційних індексів та метеорологічних даних. Оскільки глобальні продукти земного покриву мають меншу точність для України порівняно з регіональними [9], в межах проведених досліджень використано регіональні карти земного покриву з високим просторовим розрізненням 10 м на основі даних Landsat 8, Sentinel-2 і Sentinel-1 [10]. Ці карти створені з використанням сучасних методів на основі глибокого навчання [10–14]. Також запропоновано нову вдосконалену методологію для обчислення карти продуктивності землі на основі супутникових даних високого просторового розрізнення [14].

1. Метод для обчислення показників ЦСР

Зі списку 232 індикаторів ЦСР у даній статті представлено загальний метод [15] для обчислення трьох вибраних індикаторів ЦСР (рис. 1).

Основна мета проєкту GEOEssential ERA-PLANET полягає в розробці процесів для моніторингу істотних змінних (Essential Variables) і оцінки ЦСР з використанням даних дистанційного зондування. Запропонований підхід зумовлює розг-

ляд екологічної системи як модель, побудовану з харчових, водних та енергетичних компонентів і взаємозв'язків між ними. Таким чином, основні змінні часто можуть бути компонентами декількох зв'язкових підходів. У проєкті є список основних істотних змінних взаємозв'язку «їжа–вода–енергія» [16]. Розроблено робочі процеси для індикаторів 15.1.1, 15.3.1 та 2.4.1, базуючись на істотних змінних, пов'язаних з їжею, водою та енергією.

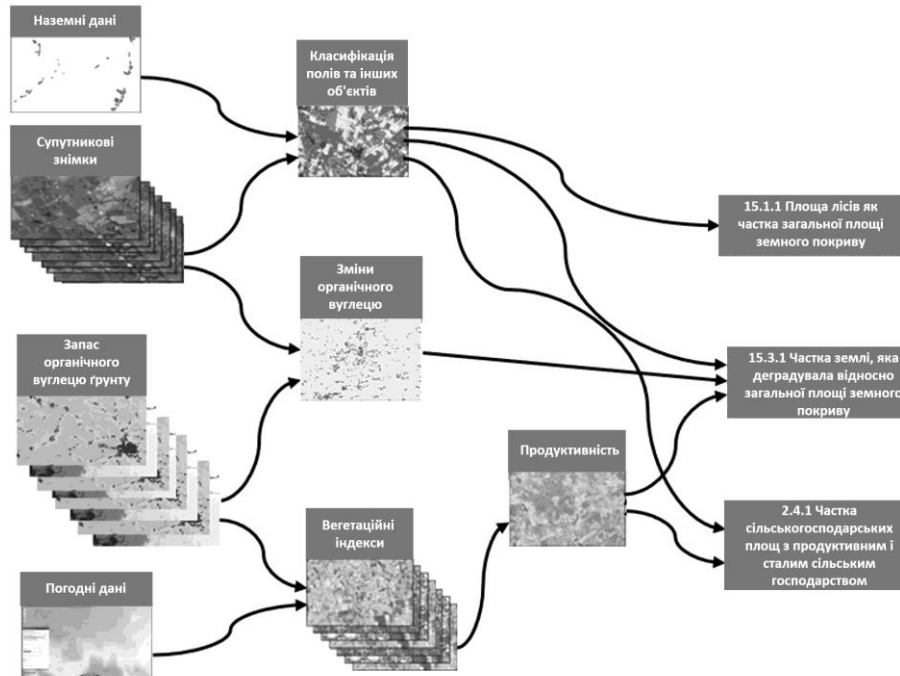


Рис. 1

До істотних змінних продовольчої безпеки відносяться площа посівів та тип сільськогосподарської культури, представлені на карті класифікації посівів [17] оцінкою стану посівів та їх фенологією [18, 19], що характеризується вегетаційними індексами, такими як NDVI, DVI, EVI [20], та біофізичні параметри [21], наприклад індекс LAI (Leaf Area Index) [22]. Для кращої оцінки стану врожаю та його фенології врожаю за допомогою вегетаційних індексів використовуються метеорологічні дані. Вони стосуються істотних змінних води та енергії, зокрема, опадів, випаровування, температури повітря на поверхні, сонячного опромінення поверхні, вологості і швидкості вітру. Ці агрометеорологічні параметри важливі для моделювання вегетаційних індексів та вдосконалення супутникової оцінки продуктивності сільськогосподарських культур [23].

2. Обчислення індикаторів ЦСР 15.3.1

Індикатор 15.3.1 «Частка деградованих земель від загальної площі» є двійковою (покращення та деградація) кількісною оцінкою на основі аналізу доступних даних для підіндикаторів, які перевіряються та повідомляються національними органами влади (а саме, тренди у земельному покритті, продуктивності землі та запасах вуглецю) [15, 24]. Цей показник базується на статистичному принципі «Один поза — усі поза» для оцінки змін через субіндикатори. Цей принцип означає, що є три типи змін у субіндикаторах: позитивні (покращення), негативні (деградація), а також стійкі (без змін). Якщо один із показників трьох субіндикаторів має негативні зміни для якоїсь ділянки, то продуктивність цієї ділянки негативна.

Запропонований метод базується на підході глибокого навчання, зокрема на ансамблі нейронних мереж [13]. В основі архітектури лежать багатошарові перцептрони (MLP), які навчаються з використанням різних параметрів і архітектур (кількість прихованих шарів), утворюючи ансамбль, що перевершує будь-який з окремих MLP. Функція випрямленої лінійної одиниці (ReLU) використовується як функція активації для нейронів у прихованих шарах, а навчання MLP виконується за допомогою оптимізатора на основі стохастичного градієнта. Щоб уникнути перенавчання, використано L2-регуляризацію з коефіцієнтом 0,1, а швидкість навчання — 10^{-3} . За допомогою нейронних мереж класифікуються сільськогосподарські культури та створюються карти земного покриття України з використанням зображень високого просторового розрізнення Landsat 8, Sentinel-1 та Sentinel-2 [25–28] та відповідні дані наземних досліджень за 2000, 2010, 2016 та 2017 рр. [29–31]. Просторове розрізнення отриманих карт становить 30 м для 2000 і 2010 рр. і 10 м — для 2016 і 2017 рр. (рис. 2).

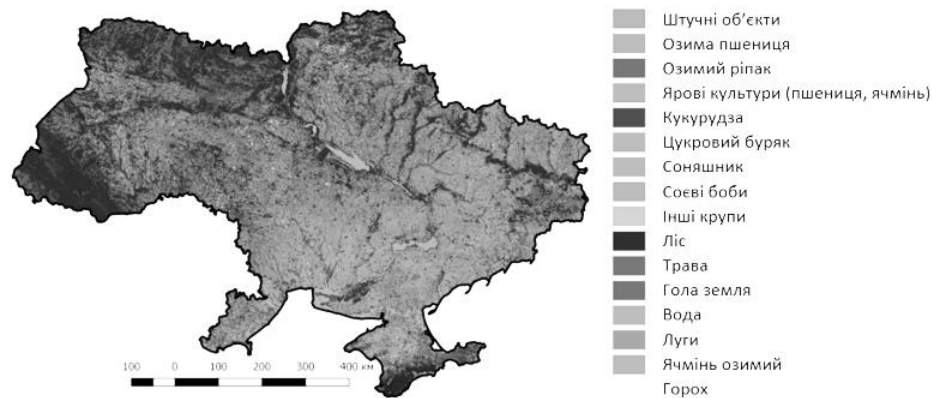


Рис. 2

На рис. 3 візуально порівнюються: карти земного покриття ESA CCI-LC з просторовим розрізненням 300 м (а) та карти класифікації ІКД НАН України та ДКА України з розбіжністю 10 м (б).

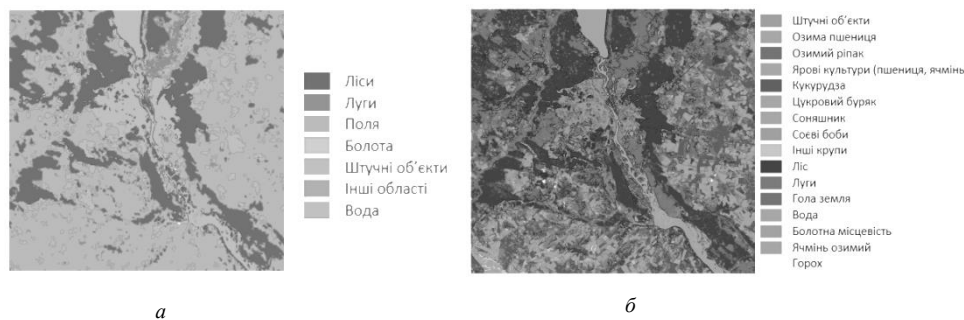


Рис. 3

Порядок обчислення індикатора 2.4.1. Індикатор 2.4.1 «Частка сільськогосподарських площ під продуктивним і сталим сільським господарством» можна обчислити за тією ж методологією, що і для розрахунку індикатора 15.3.1. Цей індикатор є відношенням сільськогосподарської площі, яка має позитивне значення продуктивності, до загальної сільськогосподарської площі за правилом «Один не підходить — інші не підходять». Для обчислення цього індикатора використано ті самі субіндикатори, що й для індикатора 15.3.1, але викликає інтерес не вся земельна площа, а лише сільськогосподарські (оброблені) землі. Для цього індикатора

особливо важливо використовувати супутникові зображення з високим просторовим розрізненням, оскільки розмір пікселів значно впливає на значення субіндикатора.

Метод обчислення індикатора 15.1.1. Показник 15.1.1 «Площа лісів як частка загальної площі землі» є відношенням всієї площі землі до площі лісів. Спочатку на основі карти класифікації оцінюється загальна площа землі, для цього видаляються водні та заболочені території, а після цього розраховується цільовий індикатор як частка площі лісів у загальній площі землі.

Впровадження робочих процесів оцінки індикаторів ЦСР у віртуальній лабораторії. У Європейському проєкті ECOpotential (<http://www.ecopotential-project.eu>) кілька організацій-партнерів відповідали за створення ресурсів за різною тематикою, таких як супутникові дані, дані наземних досліджень, послуги, інструменти аналізу та моделювання, алгоритми обробки, методи моделі та результати моделей. Для задоволення цих вимог розроблено механізм взаємодії як віртуальну лабораторію (VLab: <https://vlab.geodab.eu/>), що забезпечує доступ до ресурсів на основі вебсервісу. Для використання ресурсів хмарних обчислень [27] та прямого доступу до даних порталу GEOSS лабораторія VLab дозволяє реалізовувати робочі процеси для обчислення та моніторингу істотних змінних води, їжі та енергії для розрахунку показників ЦСР для різних країн світу. Саме інструмент VLab використано для обчислення індикаторів 2.4.1 та 15.3.1. Переваги VLab — це можливість реалізації складних робочих процесів на хмарній платформі [28] з легким доступом до даних GEOSS та інших постачальників даних з можливістю їх генерації для інструментів ECOpotential. Метод для розрахунку індикатора 2.4.1 у VLab як вхідні дані використовує карту класифікації з сільськогосподарськими класами земельного покриття та часові ряди супутникових зображень [29] протягом кількох років. У свою чергу, для обчислення індикатора 15.3.1 використовується карта зміни земного покриття та карта продуктивності землі як вхідні дані, обчислюється площа продуктивних земель і загальна площа землі.

3. Результати

Використовуючи запропонований метод (див. рис. 1), розраховано індикатори 15.1.1, 15.3.1 та 2.4.1 для території України. Значення лісистості та загальної площі земель отримано з карт земного покриття за 2000, 2010 та 2016 рр. Таким чином, індикатор 15.1.1 порахований за часткою лісів відносно загальної площі земель за ці роки (табл. 1). Спостерігається позитивна тенденція при розгляданні статистичних даних, так само як і супутникових. Це означає, що в Україні лісові насадження зазнають вирубок.

Карту продуктивності землі отримано за допомогою індексу NDVI на основі супутникових знімків Sentinel-2 і Landsat-8 високого просторового розрізнення за 2013–2017 рр. На рис. 4 порівнюються карти продуктивності з низьким просторовим розрізненням на основі даних MODIS та карти продуктивності з високим просторовим розрізненням для території України за 2017 р., отримані ІКД НАН України та ДКА України. Використовуючи карту продуктивності з високим просторовим розрізненням та карту класифікації культур, розраховано індикатори 15.3.1 та 2.4.1 для території України за 2016 та 2017 рр. Значення індикаторів 15.3.1 та 2.4.1 за 2016 та 2017 рр. наведено у табл. 2.

Таблиця 1

Джерело інформації	2000 р.	2010 р.	2016 р.
Статистика	0,172	0,172	0,176
Карты класифікації	0,176	0,179	0,189

Таблиця 2

Індикатор ЦСР	2016 р.	2017 р.
Індикатор 15.3.1, %	46,19	48,24
Індикатор 2.4.1, %	37,6	42,8

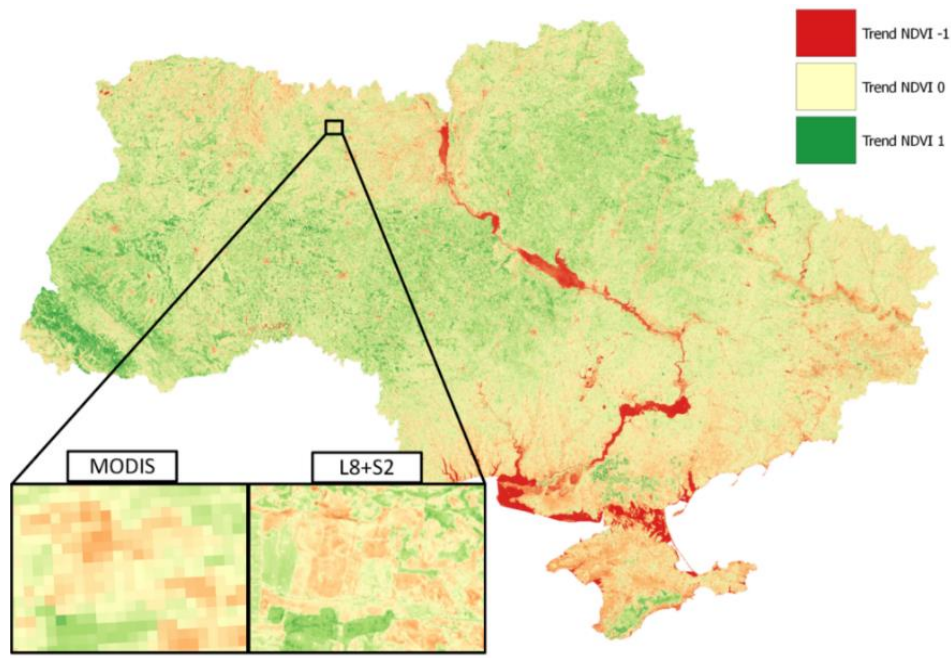


Рис. 4

За результатами аналізу отриманих геопросторових продуктів можна констатувати позитивну динаміку підвищення продуктивності всіх угідь (46,19–48,24 %), сільськогосподарських угідь (37,6–42,8 %), але площа з негативним трендом вегетаційного індексу все ще становить понад 29 046 тис. га. Позитивну динаміку можна пояснити запровадженням ефективних методів ведення сільського господарства, створенням сучасних систем збору врожаю, але зазвичай ці дії проводяться на великих сільськогосподарських угіддях або на полях, що належать великим сільськогосподарським підприємствам. Тому значна частина землі з негативною тенденцією все ще існує. Окремо виділяються певні регіони з негативним значенням продуктивності, а саме, східна Україна [35] та Крим через погіршення ситуації та проблеми з доступом до води та Західна Україна через вирубку лісів. Якщо розглядати загальний приріст, то, окрім покращення стану сільськогосподарських угідь в Україні, відбувається відновлення вирубаних лісів, які безпосередньо впливають на зниження рівня деградації. За даними Державного агентства лісових ресурсів України у 2016 р. відновлено 52,6 тис. га, у 2017 р. — 53,2 тис. га.

Висновок

Запропоновано вдосконалений метод обчислення трьох індикаторів ЦСР: 2.4.1 «Частка сільськогосподарських площ під продуктивним і сталим сільським господарством»; 15.1.1 «Площа лісів як частка загальної площі землі»; і 15.3.1 «Частка землі, що деградувала, від загальної площі землі» на основі використання супутникових та наземних даних, істотних змінних (EV), вегетаційних індексів та метеорологічних даних. У пілотному проекті Комітету ООН з боротьби із опустелюванням та в Програмі підтримки безпеки розроблено методику розрахунку індексу 15.3.1. Вона базується на наборі даних Європейського космічного агентства, розробленого в межах ініціативи з оцінки змін клімату та геопросторових даних Об'єднаного дослідницького центру. Ці набори даних є глобальними і тому мають недостатнє просторове розрізнення. Таким чином, в межах даного дослідження використано карти земного покриття, отримані в ІКД НАН України та ДКА України на основі глибокого навчання та використання зображень з високим просторовим розрізненням Landsat,

Sentinel-2 і Sentinel-1 для території України. Якість і точність таких карт значно вищі порівняно з іншими глобальними продуктами (приріст становить приблизно 10 %). Крім того, у цьому дослідженні запропоновано нову методологію побудови карти продуктивності землі з використанням даних Sentinel-2 і Landsat-8 з просторовим розрізненням 10 м, які дозволяють розрахувати індикатор 15.3.1 та інші субіндикатори — 15.1.1 і 2.4.1.

*N. Kussul, A. Shelestov, B. Yailymov, O. Fedorov,
H. Yailymova, S. Skakun, L. Shumilo, L. Kolos, O. Dyakun*

**SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS
ASSESSMENT WITHIN THE EUROPEAN
RESEARCH NETWORK (ERA-PLANET)**

Nataliia Kussul

National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»,
Space Research Institute of the National Academy of Sciences of Ukraine and State
Space Agency of Ukraine, Kyiv,

nataliia.kussul@gmail.com

Andrii Shelestov

National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»,
Space Research Institute of the National Academy of Sciences of Ukraine and State
Space Agency of Ukraine, Kyiv,

andrii.shelestov@gmail.com

Bohdan Yailymov

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

yailymov@gmail.com

Oleg Fedorov

Space Research Institute of the NAS of Ukraine and State Space Agency of Ukraine, Kyiv,

oleh.fedorov@gmail.com

Hanna Yailymova

National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»,
Space Research Institute of the National Academy of Sciences of Ukraine and State
Space Agency of Ukraine, Kyiv,

anna.yailymova@gmail.com

Serhiy Skakun

University of Meriland, USA,

serhiy.skakun@gmail.com

Leonid Shumilo

University of Meriland, USA,

shumilo.leonid@gmail.com

Ludmyla Kolos

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

kolos.ludmyla@gmail.com

Oleksii Dyakun

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

alexeydiakun@gmail.com

The Sustainable Development Goals (SDGs), also known as the Global Goals, were adopted by the United Nations in organization 2015 as a universal call to action to end poverty, protect the planet, ensure peace and improve the quality of life for all people by 2030. The development goals aim to end all forms of hunger by 2030, so that all people have enough nutritious food all year round. This involves promoting sustainable agriculture, supporting small farmers and equal access to land, technology and markets. In addition, it is important to take urgent action to reduce the loss of natural habitats and biodiversity, which are part of our shared heritage and support global food and water security, climate change consequences mitigation as well as adaptation, peace and security. For the development of this direction in Ukraine, within the framework of the European project ERA-PLANET of the Horizon 2020 program «European network for the study of our planet», Earth observation data and satellite data are used to monitor the efficiency of the use of natural resources, as well as to assess progress in achieving the Sustainable Development Goals. In this study, technologies for calculating three specific indicators were developed, namely: 2.4.1. «Part of agricultural areas with productive and sustainable agriculture»; 15.1.1 «The area of forests as a share of the total area of land cover»; 15.3.1 «Part of the land that has degraded relative to the total land cover area.» The main problem that the authors solve for the territory of Ukraine is related to the lack of high-quality data sets, their low spatial resolution and lower accuracy compared to regional products. The paper proposes a new improved methodology for calculating the land productivity map based on high spatial resolution satellite data.

Keywords: Sustainable Development Goals, indicator, land productivity dynamics, climate change, vegetation indices, satellite data, classification.

ПОСИЛАННЯ

1. Kussul N., Lavreniuk M., Shumilo L., Kolotii A., Rakoid O., Yailymov B., Shelestov A., Vasiliev V. Assessment of sustainable development goals achieving with use of nexus approach in the framework of geoessential ERA-PLANET project. *Recent Developments in Data Science and Intelligent Analysis of Information*. 2018. P. 146–155. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-97885-7_15.
2. Азарсков В.Н., Блохин Л.Н., Житецкий Л.С., Куссуль Н.Н. Робастные методы оценивания, идентификации и адаптивного управления. Киев : НАУ. 2004. 498 с.
3. Gallego J., Kussul N., Skakun S., Kravchenko O., Shelestov A., Kussul O. Efficiency assessment of using satellite data for crop area estimation in Ukraine. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 2014. Vol. 29. P. 22–30.
4. 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.
5. 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). 2015. N 15599383. P. 3965–3968.

6. 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.
7. Lavreniuk M., Skakun S., Shelestov A., Yalimov B., Yanchevskii S., Yaschuk D., Kosteckiy A. Large-scale classification of land cover using retrospective satellite data. *Cybernetics and Systems Analysis*. 2016. Vol. 52, N 1. P. 127–138.
8. Kussul N., Lavreniuk M., Shumilo L., Kolotii A. Nexus approach for calculating SDG indicator 2.4.1 using remote sensing and biophysical modeling. *IGARSS 2019–2019 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*. 2019. P. 6425–6428.
9. Kussul N., Kolotii A., Shelestov A., Yailymov B., Lavreniuk M. Land degradation estimation from global and national satellite based datasets within UN program. *Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS), 9th IEEE International Conference*. 2017. Vol. 1. P. 383–386.
10. Kussul N., Shelestov A., Skakun S. Flood monitoring from SAR data. *NATO Science for Peace and Security Series C: Environmental Security*. 2011. P. 19–29.
11. Kussul, N, Skakun S., Shelestov A., Kussul O. The Use of satellite SAR imagery to crop classification in Ukraine within JECAM project. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Symposium*. 2014. P. 1497–1500.
12. Kussul N., Skakun S., Shelestov A., Kravchenko O., Gallego F., Kussul O. Crop area estimation in Ukraine using satellite data within the MARS project. *IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*. 2012. P. 3756–3759.
13. 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. 14(5). P. 778–782.
14. Куссуль Н.Н., Шелестов А.Ю. Grid-системы для задач исследования Земли: Архитектура, модели и технологии. Київ : Наук. думка, 2008. 452 с.
15. Kussul N., Lavreniuk M., Kolotii A., Skakun S., Rakoid O., Shumilo L. A workflow for sustainable development goals indicators assessment based on high-resolution satellite data. *International Journal of Digital Earth*. 2020. Vol. 2, N 13. P. 309–321. DOI: 10.1080/17538947.2019.1610807.
16. McCallum I., Montzka C., Bayat B., Kollet S., Kolotii A., Kussul N., Mosnier A. Developing food, water and energy nexus workflows. *International Journal of Digital Earth*. 2020. Vol. 13(2). P. 299–308.
17. Kussul N., Shelestov A., Lavreniuk M., Butko I., Skakun S. Deep learning approach for large scale land cover mapping based on remote sensing data fusion. *Paper presented at the International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)*. 2016. P. 198–201.
18. Kolotii A., Kussul N., Shelestov A., Skakun S., Yailymov B., Basarab R., Ostapenko V. Comparison of biophysical and satellite predictors for wheat yield forecasting in Ukraine. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences — ISPRS Archives*. 2015. Vol. 40(7W3). P. 39-44. DOI: 10.5194/isprsarchives-XL-7-W3-39-2015.
19. Куссуль Н.Н. и др. Регрессионные модели оценки урожайности сельскохозяйственных культур по данным MODIS. *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2012. Т. 9, №. 1. С. 95–107.
20. Kogan F., Kussul N., Adamenko T., Skakun S., Kravchenko O., Kryvobok O., Shelestov A., Kolotii A., Kussul O., Lavrenyuk M. Winter wheat yield forecasting in Ukraine based on Earth observation, meteorological data and biophysical models. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 2013. Vol. 23. P. 192–203.
21. 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, N 6. P. 68–81.
22. Shelestov A., Kolotii A., Skakun S., Baruth B., R. Lopez Lozano, Yailymov B. Biophysical parameters mapping within the SPOT-5 take 5 initiative. *European Journal of Remote Sensing*. 2017. Vol. 50(1). P. 300–309.
23. Kussul N., Kolotii A., Shelestov A., Lavreniuk M., Bellemans N., Bontemps S., Defourny P., Koetz B. Sentinel-2 for agriculture national demonstration in Ukraine: results and further steps. *IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)*. 2017. P. 5842–5845.

24. Yailymov B., Lavreniuk M., Shelestov A., Kolotii A., Yailymova H., Fedorov O. Methods for determining significant variables to assess the land cover state. *Space Science and Technology*. 2018. Vol. 24, N 4. P. 24–37 (in Ukrainian).
25. Skakun S., Kussul N., Shelestov A., Kussul O. The use of satellite data for agriculture drought risk quantification in Ukraine. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*. 2015. Vol. 7(3). P. 901–917.
26. Kussul N., Lemoine G., Gallego F., Skakun S., Lavreniuk M., 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, N 6. P. 2500–2508.
27. 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. Vol. 51, N 1. P. 527–636.
28. Ghazaryan G., Dubovyk O., Löw F., Lavreniuk M., Kolotii A., Schellberg J., Kussul N. A rule-based approach for crop identification using multi-temporal and multi-sensor phenological metrics. *European Journal of Remote Sensing*. 2018. Vol. 51, N 1. P. 511–524.
29. 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. P. 17.
30. 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*. 2016. Vol. 9(8). P. 3712–719.
31. Waldner F., Abelleira D., Verón S., Zhang M., Wu B., Plotnikov D., Bartalev S., Lavreniuk M., Skakun S., Kussul N., Maire G., Dupuy S., Jarvis I., Defourny P. Towards a set of agrosystem-specific cropland mapping methods to address the global cropland diversity. *International Journal of Remote Sensing*. 2016. Vol. 37(14). P. 3196–231.
32. 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, N 4. P. 616–624.
33. Shelestov A., Lavreniuk M., Vasiliev V., Shumilo L., Kolotii A., Yailymov B., Yailymova H. Cloud approach to automated crop classification using Sentinel-1 imagery. *IEEE Transactions on Big Data*. 2020. Vol. 6, N 3. P. 572–582. DOI: 10.1109/TBDATA.2019.2940237.
34. Kussul N., Shelestov A., Yailymov B., Yailymova H., Lavreniuk M., Shumilo L., Bilokonska Y. Crop monitoring technology based on time series of satellite imagery. *IEEE 11th International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies (DESSERT)*. 2020. P. 346–350.
35. Skakun S., Justice C., Kussul N., Shelestov A., Lavreniuk M. Satellite data reveal cropland losses in South-Eastern Ukraine under military conflict. *Frontiers in Earth Science*. 2019. Vol. 7. 305 p.

Отримано 28.12.2022