

УДК 004.8, 004.62

*Н.М. Куссуль, А.Ю. Шелестов, Б.Я. Яйлимов, М.С. Лавренюк,
Г.О. Яйлимова, А.В. Колотій, Л.Л. Шуміло, О.М. Пархомчук*

**МЕТОДОЛОГІЯ ОЦІНКИ ІНДИКАТОРА ЦІЛЕЙ
СТАЛОГО РОЗВИТКУ 11.3.1**

Куссуль Наталія Миколаївна

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

E-mail nataliia.kussul@gmail.com

Шелестов Андрій Юрійович

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

andrii.shelestov@gmail.com

Яйлимов Богдан Ялкапович

Інститут космічних досліджень НАН України та ДКА України, м. Київ,

yailymov@gmail.com

Лавренюк Микола Сергійович

Інститут космічних досліджень НАН України та ДКА України, м. Київ,

nick_93@ukr.net

Яйлимова Ганна Олексіївна

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

anna.yailymova@gmail.com

Колотій Андрій Всеволодович

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

andrew.k.911@gmail.com

Шуміло Леонід Леонідович

Інститут космічних досліджень НАН України та ДКА України, м. Київ,

shumilo.leonid@gmail.com

Пархомчук Олександр Михайлович

Інститут космічних досліджень НАН України та ДКА України, м. Київ,

otparkhomchuk@gmail.com

© Н.М. КУССУЛЬ, А.Ю. ШЕЛЕСТОВ, Б.Я. ЯЙЛИМОВ, М.С. ЛАВРЕНЮК,
Г.О. ЯЙЛИМОВА, А.В. КОЛОТІЙ, Л.Л. ШУМІЛО, О.М. ПАРХОМЧУК, 2022

*Міжнародний науково-технічний журнал
Проблеми керування та інформатики, 2022, № 5*

Проблема сталого розвитку міст привертає широку увагу в країнах всього світу, оскільки вона тісно пов'язана із якістю життя суспільства. Зростання площ міських територій часто є непропорційним відносно темпів зростання населення в країнах, що розвиваються, і тому цю розбіжність не можна контролювати за допомогою статистики. У цій статті здійснено дослідження на основі даних дистанційного зондування землі та статистичних даних. Запропоновані в даній статті методи дозволяють порівняти глобальний картографічний шар людських поселень (Global Human Settlement Layer — GHSL), що містить в собі інформацію про забудову, з власною картою земного покриву, а також розрахувати індикатор цілі сталого розвитку (ЦСР) 11.3.1 «Співвідношення рівня землекористування до рівня зростання населення» із використанням супутникових та геопросторових даних, які дають можливість розрахувати рівень землекористування, а також здійснити його валідацію, спираючись на глобальні продукти. Обчислення темпів зростання населення є більш простим і доступним, тоді як рівень споживання землі є дещо складним і вимагає використання нових методів. Оцінюючи рівень споживання землі, необхідно визначити, що таке «споживання землі», оскільки це може охоплювати аспекти «споживаної», «збереженої» або доступної для «освоєння» землі для таких випадків, як земля, зайнята водно-болотними угіддями. Крім того, немає жодного однозначного показника, чи є земля, яка забудовується, справді «новозабудованою» (або вільною), чи вона принаймні частково «перепланована». Як наслідок відсоток загальної міської землі, яка була нещодавно забудована (спожита), використовуватиметься як міра споживання землі. Повністю забудовану територію також іноді називають забудованою. У зв'язку з цим розроблено два підходи для обрахунку наведеного індикатора: один з них — для рівня країни, для чого використовуються глобальні продукти, а інший — для регіонального рівня, для чого використовуються місцеві карти класифікації, розроблені та створені за власною методологією. Результати даного дослідження демонструють, що дані GHSL мають високу точність для оцінки індикатора ЦСР на рівні країни або регіону, проте для розрахунку цього індикатора на рівні міста краще використовувати місцеві карти класифікації. Розроблена методологія класифікації земного покриву в хмарній платформі Google Earth Engine демонструє хороші результати з високим просторовим розрізненням 10 м і може використовуватися для аналізу забудованих територій різних міст за супутниковими даними.

Ключові слова: супутникові дані, фотоінтерпретація, карти земного покриву, індикатор, ортотрансформація, хмарна платформа.

Вступ

Оцінка індикаторів цілей сталого розвитку (ЦСР) є дуже важливим завданням для сучасних світових наукових спільнот [1]. Дані дистанційного зондування використовувалися для вирішення багатьох проблем у процесі забезпечення землекористування та управління містом [2–4]. Одним із таких прикладів є оцінка індикатора ЦСР 11.3.1: «Співвідношення рівня землекористування до рівня зростання населення». Це індикатор другого рівня розробки (Tier 2), який має методологію для розрахунку, але джерела даних для оцінки все ще неузгоджені.

У даній роботі пропонується розрахунок індикатора 11.3.1 з використанням супутникових та геопросторових даних, які дозволяють розрахувати споживання землі [5, 6], використовуючи карти забудованих територій, та продемонструвати, як ця методологія працює для інших міст. У результаті, створюючи високоякісні місцеві або глобальні карти ґрунтового покриву на регулярній основі, можна розв'язати завдання точної оцінки індикатора 11.3.1 [7].

Для індикатора 11.3.1 запропоновано два способи розрахунку [8]. Перший використовується на рівні країни. Для цього індикатор краще будувати на якісних світових продуктах, таких як глобальний картографічний шар людських поселень (Global Human Settlement Layer — GHSL). Другий — для місцевого рівня; у цьому випадку краще використовувати місцеві дані, які є придатними для цих громад.

Хмарна платформа Google Earth Engine (GEE) надає великі можливості для вирішення цього завдання, а саме — можливість використання великих наборів супутникових даних із реалізованими підходами класифікації [9, 10] та впровадження місцевих даних. У рамках проєкту Horizon-2020 SMURBS Інститут космічних досліджень НАН України та ДКА України розробив підхід [11, 12] для побудови карти класифікації з 10-метровим просторовим розрізненням для оцінки зростання території міст [13] у хмарній платформі GEE, який можна використовувати для кожного міста світу [14, 15].

Дані

Супутникові дані. Часові ряди радарних супутникових даних SAR Sentinel-1, отримані з 01.04.2016 по 25.10.2016 [16, 17], та безхмарні зображення оптичного супутника Sentinel-2 [18] використовувалися для побудови карт населених районів міста Києва у 2016 році, а безхмарні зображення супутників Landsat-5, 7 — у 2000 році. Зокрема, для Києва у 2016 році було доступно вісім знімків Sentinel-2 та вісім знімків Landsat-5,7 відповідно, які представлені в табл. 1.

Таблиця 1

	Sentinel-2 (2016)	Landsat-5 (2000)	Landsat-7 (2000)
Дати зйомки супутникових зображень	28.04; 17.06; 17.07; 06.08; 09.08; 26.08; 29.08; 08.09	28.04; 24.07; 09.08	06.05; 07.06; 14.06; 25.07; 17.08

Для даних супутника Sentinel-1 використовуються наступні етапи попередньої обробки: застосування файлу орбіти, видалення граничного шуму, видалення теплового шуму, радіометричне калібрування, ортотрансформація та фільтрація з вікном 3×3 . Для створення композитів було використано дані оптичного датчика L1C супутника Sentinel-2. Для реалізації алгоритму Random Forest (RF) використовувалася безкоштовна хмарна платформа Google Earth Engine. Усі необхідні супутникові дані доступні у хмарній платформі.

Навчальні та тестові дані. Навчальні та тестові дані було створено шляхом фотоінтерпретації [19] з використанням оптичних даних Sentinel-2 за 2016 рік і Landsat-5, 7 за 2000 рік. Штучні об'єкти є основним типом земного покриття, який необхідно ідентифікувати [20], тому навчальні та тестові дані містять два класи, які представлено в табл. 2.

Таблиця 2

	2000 рік		2016 рік	
	Навчальні дані	Тестові дані	Навчальні дані	Тестові дані
Штучні об'єкти	30	29	57	57
Не штучні об'єкти	95	96	160	161
Загальна кількість	125	125	217	218

Додаткові дані. Як додатковий набір даних використовувався GHSL для порівняння продуктів і Global Forest Change — для їх перевірки.

Методи

Перевірка глобального шару населених пунктів та порівняння з місцевою картою земного покриття. Для валідації карти штучних об'єктів запропоновано використовувати два підходи [21, 22]. Перший потребує розрахунку матриці невідповідності для кожного із заданих років із використанням незалежних тестових даних і, таким чином, дозволяє оцінити загальну точність штучних об'єктів. Другий підхід передбачає використання додаткового незалежного шару зелених

насаджень для оцінки штучних об'єктів, які з ним перетинаються, та вимірювання похибок на даному етапі. Таким незалежним шаром є шар Global Forest Change, створений в Університеті Меріленду. У результаті розраховано перетин штучних і зелених насаджень та оцінено їхнє відсоткове відношення до загальної площі лісу.

Оцінка індикатора 11.3.1. На рис. 1 показано методологію розрахунку індикатора ЦСР 11.3.1 з двома включеними субіндикаторами.

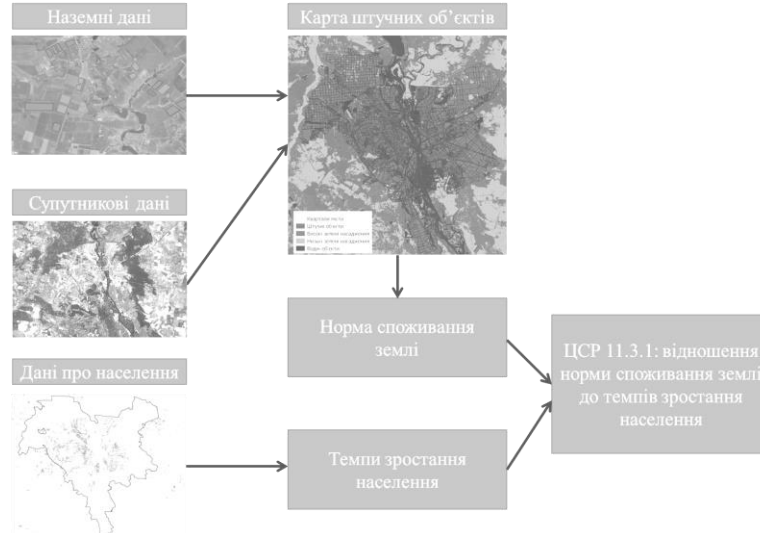


Рис. 1

Першим субіндикатором є швидкість зростання населення, і для її оцінки потрібна надійна інформація щодо чисельності наявного населення. З цієї причини найкращим джерелом даних є статистика, яку надають державні міські адміністрації. Для оцінки індикатора на рівні країни можна використовувати статистику ООН [23] і глобальні продукти, зокрема GHSL.

Темп приросту населення (PGR) є логарифмом дворічної чисельності населення:

$$PGR = \frac{\ln\left(\frac{Pop_{t+n}}{Pop_t}\right)}{y},$$

де Pop_t — населення за рік t , Pop_{t+n} — населення за рік $t+n$, а y — кількість років між вимірами.

Оцінка норми використання землі (Land Consumption Rate — LCR) [17] є більш складною, тому потрібна карта забудованої території. Її можна отримати з карт класифікації земельного покриття або карт штучних об'єктів. Найкращий спосіб оцінити LCR для масштабу міста — побудувати карту земного покриття з використанням наземних даних та доступних безкоштовних часових рядів супутникових даних Sentinel-2 та Sentinel-1. На рівні країни або регіону можна використовувати глобальні продукти, такі як рівень забудованої території GHSL. Розрахунок LCR подібний до розрахунку PGR. LCR дорівнює логарифму відношення площі забудови за два роки:

$$LCR = \frac{\ln\left(\frac{Urb_{t+n}}{Urb_t}\right)}{y},$$

де Urb_t — забудована площа за рік t , Urb_{t+n} — забудована площа за рік $t+n$, а y — кількість років між вимірюваннями.

Індикатор ЦСР 11.3.1 або співвідношення норми землекористування та темпів зростання населення (LCRPGR) можна розрахувати за формулою

$$LCRPGR = \frac{LCR}{PGR}$$

Результати

Перевірка та порівняння карти земного покриття та GHSL. Місто постійно розширюється відносно своїх офіційних меж, тому карту було побудовано з буфером навколо міста (на рис. 2 він позначений зеленим кольором). На рис. 2, *a* представлено карту штучних об'єктів (карта Інституту космічних досліджень (ІКД) НАН України та ДКА України), створену на основі навчальних даних у GEE, з використанням алгоритму Random Forest (RF) [18]. Для валідації створеної карти розраховано матрицю невідповідності на основі незалежної тестової вибірки. Загальна точність становить 85,2 %. Продукт GHSL на основі даних SAR Sentinel-1 із просторовим розрізненням 20 м використовувався для іншого способу перевірки карти класифікації. Цей продукт містить штучні об'єкти для всього світу за 2016 рік. На рис. 2, *б* представлено частину GHSL для Києва. Загальна точність на основі незалежних тестових даних становить 72,6 %, що є хорошим результатом для глобального продукту з просторовим розрізненням до 20 м. Основною проблемою цього продукту є наявність інших об'єктів, які потрапляють у маску. Зокрема, це можуть бути лісосмуги, дерева, ліси, парки, сади тощо. Причиною цього є просторове розрізнення, що викликає ефект змішаних пікселів. Враховуючи, що всі міста світу побудовані за однією моделлю та мають схожі характеристики, використання цього глобального набору даних є найкращим способом оцінки глобального індикатора 11.3.1.

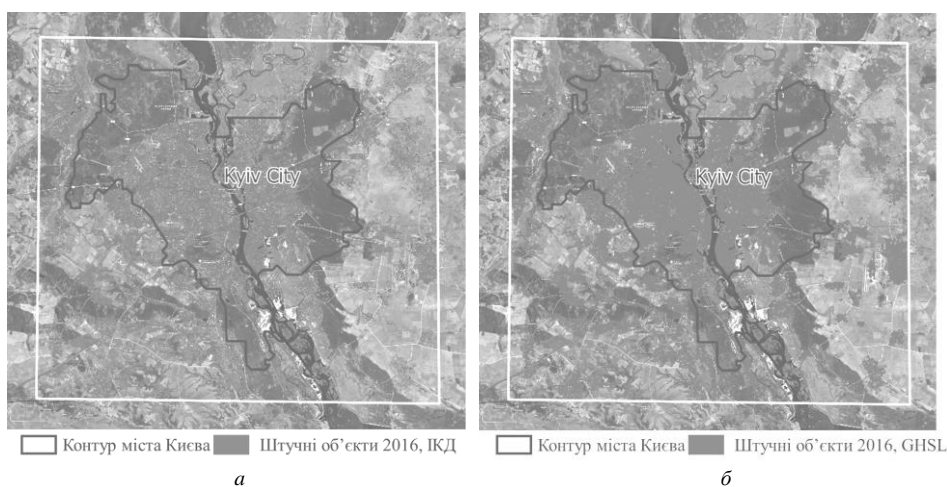


Рис. 2

Під час експерименту було вирішено використати шар Global Forest Change (створений Університетом Меріленду) для подальшої перевірки отриманих продуктів. Для цього використовували дані гранул з верхнім лівим кутом на 60° пн. ш., 30° сх. д. для Києва. На основі шару *treecover2000* виконано операції для отримання маски лісу за 2016 рік (з урахуванням шарів *lossyear_60N_030E1* та *gain_60N_030E1*). Враховуючи, що значення лісу були закодовані у відсотках на піксель вихідної сітки в діапазоні 0–100, після формування остаточного лісового покриття було обрано поріг значень, що перевищує 30, оскільки за візуальною оцінкою на основі супутникових даних високого просторового розрізнення такий поріг забезпечує найкраще покриття зеленої поверхні з лісами. Результат представлено на рис. 3.

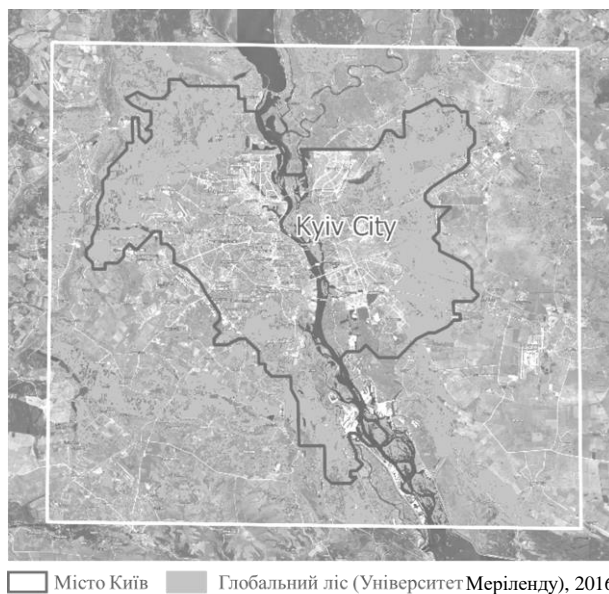


Рис. 3

За допомогою отриманого шару здійснено перетин лісової маски з Forest Mask для Києва у 2016 році (на основі карти Університету Меріленду) (рис. 4, а, б). Сірий колір вказує на перетин шару лісу з отриманим результатом, заснованим на підході SMURBS, темно-сірий колір — з GHSL, а світло-сірий — з двома картами разом. Як показано на рис. 4, б, більшість пікселів темно-сірі. Маску штучних об'єктів GHSL і RF представлено на рис. 4, в, г.

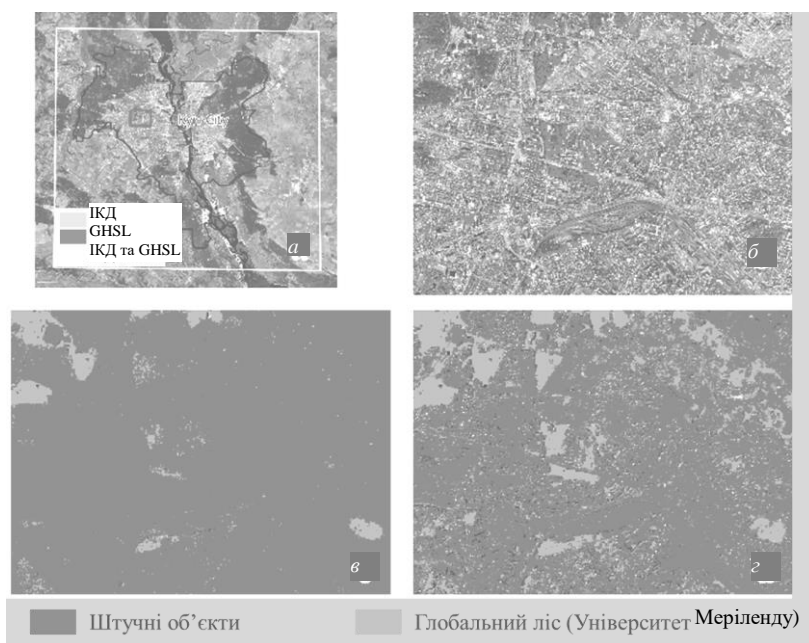


Рис. 4

Отриману площу перетину зелених насаджень із штучними об'єктами представлено в табл. 3. Відтінки сірого в ній відповідають відтінкам сірого на рис. 4, а. Цю область можна інтерпретувати як площу лісового покриття, яка помилково була класифікована як штучні об'єкти на обох картах.

Таблиця 3

Шар перетину	Площа, га	Відсоток відносно лісу, %
SRI	58,93	0,75
GHSL	582,61	7,41
SRI та GHSL	165,26	2,10

Отримані результати підтверджують точність побудованих карт штучних об'єктів Києва. Найкращі результати отримано на основі карт класифікації з 10-метровим просторовим розрізненням із використанням методу RF у хмарній платформі GEE. У подальшому планується створення однотипних карт із високим просторовим розрізненням і подальше їх використання в рамках програми HORIZON 2020, зокрема проєкту SMURBS / ERA-PLANET [24, 25].

Порівняння індикатора ЦСР 11.3.1 на основі регіональних і глобальних даних. Карту з штучними об'єктами для Києва 2000 року було побудовано з використанням навчальних даних [26] та супутникових даних Landsat-5 та Landsat-7 з точністю 83,4 %. Ця карта використовується для початкового розрахунку площі забудови для LCR. Для оцінки площі забудови за 2016 рік було використано карту земного покриття з просторовим розрізненням 10 м. Карти того ж року було обрано з GHSL, і на основі обох джерел даних розраховано норму використання землі. Для оцінки темпів приросту населення використовувалися дані місцевої статистики, надані міською статистичною службою. У табл. 4 представлено результати проведеного експерименту: рівень використання землі та показники ЦСР 11.3.1 на основі регіональних карт SRI та GHSL. Як показано, різниця сильно впливає на рівень використання землі, і у випадках для оцінки показника на рівні міста краще використовувати місцеві дані.

Таблиця 4

Коефіцієнт споживання землі за картою SRI	0,074
Коефіцієнт споживання землі за GHSL	0,044
SDG 11.3.1 за картою SRI	4,758
SDG 11.3.1 за GHSL	2,845

Висновок

Результати дослідження показують, що GHSL має високу точність для оцінки індикатора ЦСР на рівні країни або регіону. Завдяки цьому показник інформативний і корисний у великому масштабі. У масштабі міста краще використовувати місцеві дані та супутникові дані з більшою просторовою роздільною здатністю. Це може підвищити точність розрахунку індикатора. Підхід до класифікації земного покриття в GEE, розроблений у проєкті SMURBS, забезпечує хороші результати з просторовим розрізненням 10 м і може використовуватися для побудови подібних карт забудованих територій різних міст із застосуванням місцевих даних.

*N. Kussul, A. Shelestov, B. Yailymov, M. Lavreniuk,
H. Yailymova, A. Kolotii, L. Shumilo, O. Parkhomchuk*

METHODOLOGY FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS INDICATOR 11.3.1 ASSESSMENT

Nataliia Kussul

National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»,

nataliia.kussul@gmail.com

*Міжнародний науково-технічний журнал
Проблеми керування та інформатики, 2022, № 5*

Andrii Shelestov

National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»,
andrii.shelestov@gmail.com

Bohdan Yailymov

Institute of Space Research of the National Academy of Sciences of Ukraine and SCA
of Ukraine, Kyiv,
yailymov@gmail.com

Mykola Lavreniuk

Institute of Space Research of the National Academy of Sciences of Ukraine and SCA
of Ukraine, Kyiv,
nick_93@ukr.net

Hanna Yailymova

National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»,
anna.yailymova@gmail.com

Andrii Kolotii

National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»,
andrew.k.911@gmail.com

Leonid Shumilo

Institute of Space Research of the National Academy of Sciences of Ukraine and SCA
of Ukraine, Kyiv,
shumilo.leonid@gmail.com

Oleksandr Parkhomchuk

Institute of Space Research of the National Academy of Sciences of Ukraine and SCA
of Ukraine, Kyiv,
omparkhomchuk@gmail.com

The problem of sustainable development of cities attracts wide attention in countries around the world, as it is closely related to the quality of life of society. The growth of urban areas is often disproportionate to population growth in developing countries. Therefore, this discrepancy cannot be controlled using statistics. In this article, research is carried out based on remote sensing of the earth and statistical data. The methods proposed in this article make it possible to compare the Global Human Settlement Layer (GHSL), which contains information about buildings, with the own land cover map, as well as calculate the Sustainable Development Goals (SDG) indicator 11.3.1 «Ratio of the level of land consumption to the rate of population growth» with the use of satellite and geospatial data, which make it possible to calculate land consumption, as well as to carry out its validation based on global products. Calculating the rate of population growth is simpler and more accessible, while the level of land consumption is somewhat complicated and requires the use of new methods. When assessing the level of land consumption, it is necessary to define what is «consumption» of land, as this may include aspects of «consumed» or «conserved» or available for «development» for cases such as land occupied by wetlands. Second, there is no clear-cut indicator of whether the land being developed is truly 'newly developed' (or vacant) land, or whether it is at least partially 'redeveloped'. As a result, the percentage of total urban land that has been recently developed (consumed) will be used as a measure of land consumption. A fully built-up area is also sometimes

called a built-up area. In this regard, two approaches have been developed to calculate the given indicator, one of them for the country level, for which global products are used, and the other for the regional level, for which local classification maps, developed and created according to our own methodology, are used. The results of this study demonstrate that GHSL data are highly accurate for estimating the SDG indicator at the country or regional level, but when calculating the indicator at the city level, it is better to use local classification maps. The developed land cover classification methodology in the Google Earth Engine cloud platform shows good results with a high spatial resolution of 10 m and can be used for various cities to analyze built-up areas from satellite data.

Keywords: satellite data, photointerpretation, land cover maps, indicator, orthotransformation, cloud platform.

REFERENCES

1. Kussul N. Formation of the Ukrainian segment of the European research space in the Earth observation sphere (According to the materials of scientific report at the meeting of the Presidium of NAS of Ukraine, January 29, 2020). *Visn. Nac. Akad. Nauk Ukr.* 2020. N 3. P. 39–45. DOI: <https://doi.org/10.15407/visn2020.03.039>.
2. Shumilo L., Yailymov B., Lavreniuk M., Shelestov A., Korsunska Y. Land surface temperature analysis and trends for Rivne using remote sensing data. *2019 IEEE 2nd Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON)*, 2–6 July 2019, Lviv, Ukraine. 2019. P. 1107–1111. DOI: 10.1109/UKRCON.2019.8879776.
3. Куссуль Н.Н., Кравченко А.Н., Скакун С.В., Адаменко Т.И., Шелестов А.Ю., Колотий А.В., Грипич Ю.А. Регрессионные модели оценки урожайности сельскохозяйственных культур по данным MODIS. *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2012. Т. 9, № 1. С. 95–107.
4. Куссуль Н.Н., Шелестов А.Ю. Grid-системы для задач исследования Земли. Архитектура, модели и технологии. Киев : Наукова думка, 2008. 452 с.
5. Shelestov A., Sumilo L., Lavreniuk M., Vasiliev V., Bulanaya T., Gomilko I., Kolotii A, Medyanovskiy K, Skakun S. Indoor and outdoor air quality monitoring on the base of intelligent sensors for smart city. *XVIII International Conference on Data Science and Intelligent Analysis of Information*. 2018. Vol. 836. P. 134–145. DOI: 10.1007/978-3-319-97885-7_14.
6. Lavreniuk M., Shelestov A., Kolotii A., Vasiliev V., Bulanaya T., Gomilko I. Air quality monitoring in smart city using intelligent sensors. *EGU General Assembly Conference Abstracts*. 2018. Vol. 20. P. 17087.
7. Азарсков В.Н., Блохин Л.Н., Житецкий Л.С., Куссуль Н.Н. Робастные методы оценивания, идентификации и адаптивного управления. Киев : НАУ. 2004. 498 с.
8. 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*. 2019. Vol. 13, N 2. P. 309–321. DOI: 10.1080/17538947.2019.1610807.
9. 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. DOI: 10.1109/LGRS.2017.2681128.
10. 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. Vol. 5. P. 17. DOI: doi.org/10.3389/feart.2017.00017.
11. Shelestov A., Kolotii A., Lavreniuk M., Yailymov B., Shumilo L., Korsunska Y. Smart city services for Kiev city within ERA-PLANET SMURBS project. *IEEE 39th International Conference on Electronics and Nanotechnology (ELNANO)*. 2019. N 18882343. P. 784–788. DOI: 10.1109/ELNANO.2019.8783424.
12. 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 and Spatial Information Sciences — ISPRS Archives*. 2015. Vol. 40 (7W3). P. 39–44. DOI: 10.5194/isprsarchives-XL-7-W3-39-2015.
13. Shelestov A., Raudner A., Kolotii A., Marinosci I., Attanasio A., Munafò M., Lavreniuk M., Speyer O., Yailymov B., Kussul N. Urban growth services within ERA-PLANET SMURBS project. *2019 Living Planet Symposium*. 13–17 May 2019, MiCo — Milano Congressi — Milan, Italy.

14. Kussul N., Mykola L., 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. 627–636. DOI: <https://doi.org/10.1080/22797254.2018.1454265>.
15. 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. DOI: 10.1109/IGARSS.2016.7729043.
16. 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. DOI: 10.1109/IGARSS.2014.6946721.
17. 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*. 2019. Vol. 6, N 3. DOI: 10.1109/TBDDATA.2019.2940237.
18. 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. DOI: 10.1109/IGARSS.2017.8128337.
19. Shumilo L., Kussul N., Shelestov A., Korsunskaya Y., Yailymov B. Sentinel-3 urban heat island monitoring and analysis for Kyiv based on vector data. *2019 10th International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies (DESSERT)*. Leeds, United Kingdom. 2019. P. 131–135. DOI: 10.1109/DESSERT.2019.8770042.
20. Shumilo L., Yailymov B., Kussul N., Lavreniuk M., Shelestov A., Korsunskaya Y. Rivne city land cover and land surface temperature analysis using remote sensing data. *2019 IEEE 39th International Conference on Electronics and Nanotechnology (ELNANO)*. 16–18 April 2019, Kyiv, Ukraine. 2019. P. 813–816. DOI: 10.1109/ELNANO.2019.8783604.
21. Shumilo L., Shelestov A., Yailymov B., Korsunskaya Y., Kussul N. Land surface temperature estimation for smart city. *2019 Living Planet Symposium*. 13–17 May 2019, MiCo — Milano Congressi — Milan, Italy.
22. Shelestov A., Kolotii A., Borisova T., Turos O., Milinevsky G., Gomilko I., Kolos L. Essential variables for air quality estimation. *International Journal of Digital Earth*. 2019. Vol. 13, N 2. P. 278–298. DOI: <https://doi.org/10.1080/17538947.2019.1620881>.
23. 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. DOI: 10.1109/IDAACS.2017.8095109.
24. Korsunskaya Y., Shumilo L., Kolotii A., Shelestov A. Air quality estimation using satellite and in-situ data for Kyiv city within ERA-PLANET project. *2019 IEEE 2nd Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON)*. 2–6 July 2019, Lviv, Ukraine. 2019. P. 1032–1036. DOI: 10.1109/UKRCON.2019.8879843.
25. Shelestov A., Shumilo L., Kolotii A., Korsunskaya Y. Air quality estimation for the Kyiv city within ERA-PLANET project. *Earth Observation Phi-Week*. 9–13 September 2019, Rome, Italy.
26. Shelestov A., Kolotii A., Lavreniuk M., Medyanovskiy K., Vasiliev V., Bulanaya T., Gomilko I. Air quality monitoring in urban areas using in-situ and satellite data within Era-Planet project. *IGARSS*. Valencia, Spain. 2018. P. 1668–1671. DOI: 10.1109/IGARSS.2018.8518368.

Отримано 28.12.2022