

Інститут космічних досліджень НАН України і ДКА України



**ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ
СУПУТНИКОВОЇ ІНФОРМАЦІЇ
ДЛЯ МОНІТОРИНГУ ДОСЯГНЕННЯ ЦІЛЕЙ
СТАЛОГО РОЗВИТКУ УКРАЇНИ**

Аналітична доповідь

Київ • 2020



Аналітична доповідь
«ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ
СУПУТНИКОВОЇ ІНФОРМАЦІЇ ДЛЯ МОНІТОРИНГУ
ДОСЯГНЕННЯ ЦІЛЕЙ СТАЛОГО РОЗВИТКУ УКРАЇНИ»

За результатами виконання
комплексної програми НАН України
«Аерокосмічні спостереження довкілля
в інтересах сталого розвитку та безпеки
як національний сегмент проекту
Горизонт-2020 ERA-PLANET»
(ERA-PLANET/UA)
у 2018-2020 роках

Інститут космічних досліджень НАН України і ДКА України

Київ-2020

Резюме

Міжнародна програма створення системи систем спостереження за Землею GEOSS демонструє динамічний розвиток діяльності та низку позитивних конкретних результатів в інтересах вирішення актуальних соціально-економічних проблем, зокрема, сформульованих ООН цілей сталого розвитку, моніторингу глобальних кліматичних змін, катастрофічних подій. Досягнутий на сьогодні рівень діяльності свідчить про досягнення світовою спільнотою якісно нового технологічного рівня у створенні основ цифрової економіки, методології оброблення великих обсягів даних (Big Data) та ефективності використання супутникової інформації. Система моніторингу глобальної структури показників є підґрунтям впровадження принципів сталого розвитку до національної політики, яка вимагатиме інтеграції та експлуатації багатьох нових наборів даних, а також істотної модернізації національних статистичних і геопросторових систем.

Для України залучення до міжнародних зусиль відповідно до «Порядку денного – 2030» має принципове значення як з огляду на національні інтереси, так і в контексті євроінтеграційних процесів. Українські фахівці протягом останніх років здійснили практичні кроки на шляху широкомасштабного запровадження в Україні ідеології системи систем GEOSS та європейської програми COPEERNICUS. Протягом 2018-2020 років започатковано створення українського сегменту європейського дослідницького простору (ERA) у сфері космічних спостережень, з 2018 року започатковано структуру EuroGEOS, в яку входять і представники України, виконано низку пілотних проєктів у співпраці з міжнародними центрами, зокрема з оцінювання індикаторів

- 2.4.1. Частка сільськогосподарських земель в умовах продуктивного та стійкого сільського господарства;

- 15.1.1. Лісова площа, як частка загальної земельної площі;

- 15.3.1. Частка деградованих земель від загальної земельної площі;

- 11.3.1. Відношення показника землекористування до показника приросту населення.

Набутий досвід дозволяє запропонувати ідеологію українського сегменту GEOSS – інформаційної системи UkrGEO, яка передбачає розроблення та впровадження інформаційних технологій та сервісів оцінювання індикаторів сталого розвитку у соціально значимих областях (продовольчої, енергетичної, пожежної безпеки, моніторингу сільськогосподарських, лісних, водних енергетичних ресурсів, міських агломерацій, забруднень довкілля). Система базується на концепції спільного використання суттєвих змінних (Essential Variables) для оцінки, прогнозування та моніторингу екосистем шляхом використання даних спостереження Землі. Такий підхід сприятиме розвитку суспільства у відповідності до цілей сталого розвитку та забезпечить координацію робіт в межах різних предметних областей на новому рівні використання інформаційних технологій.

Зміст

Перелік скорочень та термінів	4
Вступ	5
Розділ 1. Цілі сталого розвитку та космічні спостереження	7
1.1. Нова ідеологія моніторингу досягнення цілей сталого розвитку	7
1.2. Основні методологічні підходи міжнародної ініціативи GEOSS	10
1.3. Проблеми залучення дистанційних даних до статистичної звітності	15
Висновки	18
Розділ 2. Перспективи застосування супутникових даних для оцінювання індикаторів сталого розвитку України	19
2.1. Національні цілі, завдання та індикатори, що можуть оцінюватися із залученням супутникових даних	19
2.2. Джерела супутникової інформації, які використовуються для оцінювання індикаторів досягнення цілей сталого розвитку	21
Розділ 3. Приклади розроблених та впроваджених технологій	23
3.1. Процес обчислення індикаторів	24
3.2. Попередні висновки щодо оцінювання та використання індикаторів	30
3.3. Оцінювання індикатора «11.3.1. Відношення показника землекористування до показника приросту населення»	32
Розділ 4. Поточні та започатковані міжнародні проєкти в інтересах впровадження в Україні супутникових технологій за методологією GEOSS	39
Розділ 5. Напрями побудови українського сегменту GEOSS	46
Перелік посилань	50
Додатки	58

Перелік скорочень та термінів

GEO, Group of Earth Observation – міжурядова Група зі спостережень Землі.

ESA, European Space Agency – Європейське космічне агентство (ЄКА).

WMO, World Meteorological Organization – Всесвітня метеорологічна організація (ВМО).

GEOSS, Global Earth Observation System of Systems – Глобальна система систем зі спостереження за Землею.

COPERNICUS (Copernicus Programme) – програма спостереження за Землею, яка координується та керується Європейською Комісією у партнерстві з Європейським космічним агентством (ЄКА), державами-членами ЄС та агенціями ЄС.

HORIZON 2020 – Горизонт 2020, рамкова програма Європейського Союзу (2014–2020) з фінансування науки та інновацій.

FP-7 – Рамкова програма Європейського Союзу з розвитку наукових досліджень і технологій (2007-2013) – програма фінансування, створена Європейським Союзом з метою підтримки і заохочення досліджень в Європейському дослідницькому просторі.

EuroGEOSS – Європейський регіональний кластер GEO, організації, що створює Глобальну систему систем зі спостереження за Землею GEOSS.

ERA-PLANET (The European Network for Observing our Changing Planet) – масштабний проект в рамках програми HORIZON-2020, який передбачає створення спільного Європейського дослідницького простору в сфері спостереження Землі.

SDG, Sustainable Development Goals – ЦСР, цілі сталого розвитку.

SDG Indicators – Індикатори досягнення цілей сталого розвитку.

CEOS, Committee on Earth Observation Satellites – Міжнародний комітет з супутників спостереження Землі.

EV, Essential Variables – **істотні змінні**: мінімальний набір змінних, які визначають стан системи та її розвиток, і мають вирішальне значення для прогнозування розвитку системи та дозволяють визначати метрики, що контролюють траєкторію системи.

Big Data – **Великі дані** – область інформаційних технологій, в якій розглядаються шляхи аналізу, систематичного отримання інформації з наборів даних або інші способи оброблення даних, які є занадто великими або складними для використання в рамках традиційного прикладного програмного забезпечення для оброблення даних.

Data Cube – **куби даних** – тривимірні (3D або вище) набори даних для інтерпретації часової послідовності зображень.

Вступ

Приймаючи Порядок денний сталого розвитку до 2030 р., світові лідери визнали ключову роль, яку відіграють космічні спостереження та геопросторова інформація у забезпеченні нової якості екологічного моніторингу та досягненні цілей сталого розвитку. На виконання політичних рішень створено міжурядову групу GEO (Group of Earth Observation), яка забезпечує співпрацю провідних світових центрів та установ в сфері спостереження Землі і налічує наразі 105 країн та більше 50 авторитетних міжнародних організацій, зокрема, Всесвітню метеорологічну організацію WMO, Європейське космічне агентство ESA та інші. Основою ідеєю цієї масштабної та амбіційної ініціативи виступає спільне застосування даних дистанційних, наземних спостережень та результатів моделювання для розв'язання прикладних задач в областях високої соціальної значимості: екологічної безпеки, енергетики, змін клімату, біорізноманіття, продовольчої безпеки, лісових, водних аграрних ресурсів тощо.

Методичний підхід, який покладено в основу створення всесвітньої Системи систем зі спостереження за Землею GEOSS, передбачає створення єдиного ланцюга, що поєднує показники, необхідні для ухвалення рішень політиками і кількісні параметри з різних джерел моніторингу. Резолюція саміту ООН зі сталого розвитку (жовтень 2019 року), визначає цей підхід як революційний прорив у ефективності моніторингу показників сталого розвитку. Документи саміту GEO у Канберрі (2019 р.) сформулювали стратегічне завдання щодо орієнтації сервісів системи систем GEOSS на конкретні результати (Policy-Relevant knowledge-based services).

Українські фахівці активно включились у нову діяльність, яка поєднує національні та глобальні інтереси, орієнтуючись в першу чергу на європейський сегмент діяльності GEO. Європейським внеском в GEOSS є флагманський проект європейської космічної програми Copernicus, створено кілька консорціумів в рамках дослідницької програми HORIZON 2020, а з 2016 року почалося створення європейського дослідницького простору (ERA) в області космічного моніторингу. У 2018 році започатковано структуру EuroGEOS, в яку входять і представники України. Великий проект за участю України ERA-PLANET (The European Network for Observing our Changing Planet) в рамках програми HORIZON-2020, передбачає створення спільного Європейського дослідницького простору в сфері спостереження Землі. Проект розрахований для виконання до 2021 року, надалі його продовження планується в рамках нової структури EuroGEOSS.

Низка одержаних українськими фахівцями результатів в міжнародній кооперації свідчить про перспективність активної співпраці в рамках міжнародного мегапроекту GEOSS. Так співробітники Інституту космічних досліджень НАНУ та ДКАУ одержали систематичні дані щодо впливу агротехнологій на довкілля в рамках проекту FP-7 «SIGMA» (2013-2017 роки), побудовано карти земного покриття та маски посівних площ на території України в рамках проекту Sen2-Agri з Європейським космічним

агентством; в проєкті зі Світовим банком (2018-2020) продемонстровано використання даних Copernicus для моніторингу деградації земель та наслідків посух.

Одним із важливих результатів впровадження даних супутникового моніторингу є розроблення та впровадження спільних із світовою спільнотою методів оцінювання індикаторів сталого розвитку. Наразі українські фахівці розробили, тестували та представили результати такого оцінювання для наступних показників:

- 2.4.1. Частка сільськогосподарських земель в умовах продуктивного та стійкого сільського господарства;

- 15.1.1. Лісова площа, як частка загальної земельної площі;

- 15.3.1. Частка деградованих земель від загальної земельної площі.

- 11.3.1. Відношення показника землекористування до показника приросту населення.

Розгортання робіт в цьому напрямі включає міжнародний проєкт «Методологія оцінювання цілей сталого розвитку для України, Аргентини та Індії» за участі 17 країн та підтримки фірми Амазон (GEO-AMAZON EARTH OBSERVATION CLOUD CREDITS PROGRAMME (2019-2022), SDG Indicators calculation for Ukraine).

Активна робота в рамках створення всесвітньої Системи систем зі спостереження за Землею GEOSS є важливою складовою частиною здійснення власної стратегії екологічного моніторингу, яка забезпечує міжнародний рівень цієї діяльності та виконання міжнародних зобов'язань України.

Доцільність гармонізації власних зусиль з планами GEO обумовлена можливістю спільного вироблення методології оцінювання індикаторів сталого розвитку, вирішення національних та регіональних проблем моніторингу довкілля, долучення до баз даних та знань, вироблених в рамках GEOSS, а також зацікавленістю європейських інституцій до співпраці з Україною рамках створення регіональних структур EuroGEO.

Розділ 1. Цілі сталого розвитку та космічні спостереження

1.1. Нова ідеологія моніторингу досягнення цілей сталого розвитку

Впровадження ідеології сталого розвитку (СР) набуло нової якості з прийняттям на Саміті ООН у 2015 році документу «Порядок денний в галузі СР на період до 2030 року» (Agenda 2030) [1]. Він визначив 17 глобальних цілей сталого розвитку (ЦСР), спрямованих на просування трьох взаємопов'язаних складових СР – економічного зростання, соціальної відповідальності, захисту довкілля. ЦСР окреслюють глобальні пріоритети, для їх досягнення сформульовані завдання та визначено глобальні індикатори для моніторингу параметрів розвитку. Контроль поточної ситуації та покроковий аналіз ефективності реалізованих заходів на основі комплексу показників–індикаторів реалізує механізм керованості на основі зворотного зв'язку для коригування і актуалізації завдань і обраних стратегій просування до ЦСР. В цілому, впровадження ідеології СР у суспільну практику відображає процес переходу від традиційних схем планування до управління адаптивною системою, яка здатна вдосконалюватися.

Парадигма СР носить інклюзивний характер («нікого не залишити осторонь») і передбачає солідарні колективні дії на глобальному і національному рівнях. Глобальна структура показників – це засіб, за допомогою якого уряди можуть практично контролювати і звітувати про хід досягнення цілей. Тому цей підхід є підґрунтям інтеграції принципів сталого розвитку до національної політики. Очікується, що уряди країн світу сформулюють на основі ЦСР національні плани та ініціативи відповідно до наявних можливостей, а цілі, завдання та індикатори глобального рівня будуть адаптовані відповідно до пріоритетів розвитку та безпеки країн шляхом розроблення національних цілей, завдань та індикаторів. Передбачено проведення моніторингу досягнення ЦСР на глобальному, регіональному, національному та тематичному рівнях, при цьому в центрі уваги знаходиться національний моніторинг. За результатами моніторингу відповідними структурами ООН готується щорічна доповідь, яка обговорюється на Політичному форумі високого рівня.

17 ЦСР, 169 завдань та 230 глобальних індикаторів визначають новий підхід до сталого розвитку, який керується конкретною інформацією та доказовою базою: «Якщо не вимірювати, то не можна й керувати». Реалізація ідеології «Порядку денного – 2030» вимагатиме інтеграції та експлуатації багатьох нових наборів даних для моніторингу цілей та пов'язаних показників, а також істотної модернізації національних статистичних та геопросторових систем. На рис 1.1 показана схема взаємодії різних підсистем, яка реалізує задекларований підхід [2]. Принципово важливе місце займають дані космічних спостережень, завдяки їх унікальним можливостям щодо масштабності та оперативності огляду, отримання глобальної та локальної інформації про природні та господарські об'єкти, регулярності спостереження Землі як системи. Резолюція

Всесвітньої конференції зі сталого розвитку (Йоханесбург, 2002) [3] відзначила неможливість забезпечення сталого розвитку без залучення дистанційних супутникових даних.

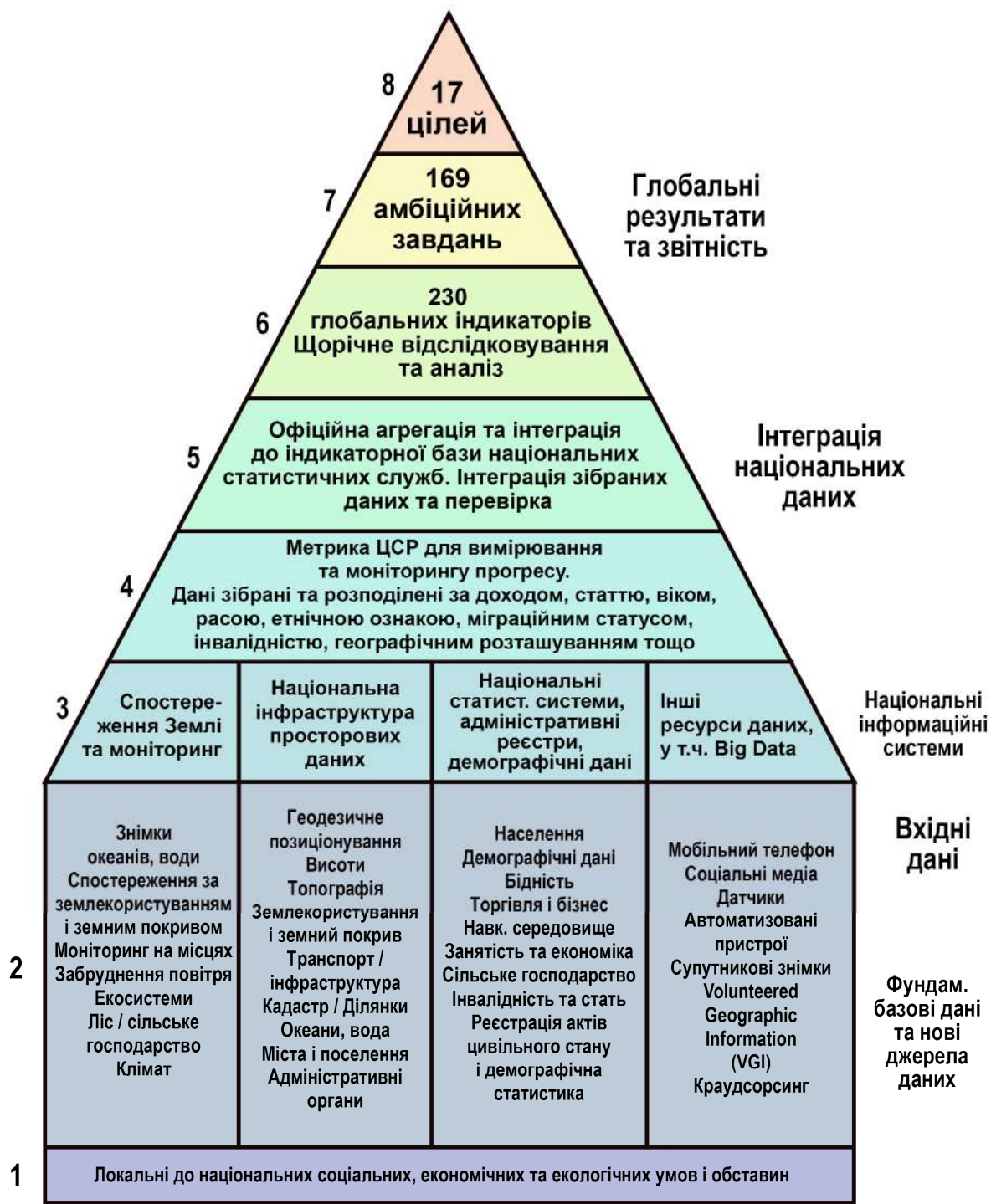


Рис. 1.1. Загальна структура «поток даних» про сталий розвиток, яка забезпечує для кожної країни вимірювання індикаторів та моніторинг ЦСР шляхом узгодження глобальної звітності

Міжнародною організаційною структурою, яка має впроваджувати нову ідеологію, виступає Міжурядова група GEO, яка забезпечує співпрацю різних центрів та установ в сфері спостереження Землі. Стратегічна мета цієї організації – забезпечити скоординовані спостереження Землі за допомогою різних джерел, включаючи супутникові, повітряні, наземні платформи та обсерваторії. Таке об'єднання надає нові потужні інструменти для розуміння минулого і нинішнього стану земних систем, а також взаємодії між ними. Ці інструменти та новий рівень знань, які вони надають, разом з соціально-економічними даними, що описують людський фактор в глобальному навколишньому середовищі, є умовою вирішення проблем, усунення та пом'якшення ризиків, і вироблення кваліфікованих прогнозів майбутньої поведінки земних систем.

Стратегічним завданням є створення всесвітньої Системи систем зі спостереження за Землею GEOSS, яка поєднує показники, необхідні для ухвалення рішень політиками, і дані моніторингу з різних джерел. GEOSS являє собою комплекс скоординованих, незалежних систем спостереження Землі, інформації і обробки, які взаємодіють і забезпечують доступ до різноманітної інформації для широкого кола користувачів як в державному, так і в приватному секторах. В основу створення GEOSS покладено розв'язання прикладних задач в областях високої соціальної значимості. Зокрема, в рамках десятилітнього Плану впровадження на 2016-2025 роки (GEO Strategic Plan 2016-2025: Implementing GEOSS) окреслені такі сфери: біорізноманіття та екологічна безпека; стійкість до стихійних лих; управління енергосистемами та мінеральними ресурсами; продовольча безпека та стале землеробство; інфраструктура та управління транспортом; заходи з охорони здоров'я.

На рис. 1.2 наведено структурну схему впровадження ідеології GEO та основні керуючі інституції та програми.

Наразі вже розроблені потужні інструменти збирання та оброблення даних, забезпечено новий рівень взаємодії інформаційної інфраструктури, засобів спостереження та наукових досліджень. Широке впровадження технологій дистанційного зондування Землі виступає як структурна перебудова геоінформаційного забезпечення економіки. В основу такої перебудови покладено суттєве покращення точності оцінок стану довкілля та ідентифікації загроз на основі нової методології прогнозних оцінок, яка використовує великі масиви спостережних аерокосмічних та наземних даних. Саміт GEO в Канберрі (2019 р.) зафіксував сучасну роль та пріоритетні завдання у сфері використанні супутникової інформації, зокрема:

- супутникові спостереження на сьогодні виступають важливим інструментом визначення індикаторів сталого розвитку;
- приватно-публічне партнерство та залучення приватного сектору є актуальним завданням у створенні всесвітньої системи систем GEOSS;
- необхідно забезпечити перехід від ідеології створення інформаційної системи до системи знань як підґрунтя впровадження управлінських заходів.



Рис. 1.2. Чотири механізми впровадження GEO

У створюваній системі систем використання супутникових даних не виступає як суто засіб покращення існуючих методів, мова йде про інноваційний підхід, оснований на інтеграції наземних та космічних даних в моделях природних і техногенних процесів, який забезпечить якісно новий рівень вирішення задач моделювання та прогнозування і, в цілому – інформаційної підтримки управлінських рішень. Протягом останніх років ініційовано декілька проєктів, в яких розроблюються методологічні підходи до створення практично працюючих інформаційних сервісів, які реалізують ланцюг від спостережної інформації до істотних змінних відповідних моделей і до індикаторів СР. Найбільший прогрес досягнуто у сферах кліматичних змін та погоди, досліджень океану, а також моніторингу біорізноманіття [4]

1.2. Основні методологічні підходи міжнародної ініціативи GEOSS

40-річна історія використання супутникових технологій демонструє, що наразі ми є свідками переходу до нового етапу, в якому дистанційні дані спричиняють трансформаційний вплив на вирішення низки глобальних завдань, таких як моніторинг та захист вразливих екосистем, забезпечення стійкості інфраструктури, управління кліматичними ризиками, охорона здоров'я, підвищення рівня продовольчої безпеки, створення більш стійких міст, зменшення бідності та поліпшення управління. Унікальне значення супутникових даних стало предметом розгляду на Першому Всесвітньому форумі ООН з даних щодо сталого розвитку (2017 р.), який схвалив Кейптаунський глобальний план дій. Одним із стратегічних напрямів удосконалення системи глобальних індикаторів визначено застосування нових технологій і джерел

даних у статистичній діяльності та інтеграція геопросторової інформації у підготовку статистичних даних. Цей загальний висновок обумовлює наступні фундаментальні функції, які супутникові дані виконуватимуть у проблемі моніторингу досягнення ЦСР [5]: 1) забезпечують життєздатність створеної системи індикаторів; 2) формують підґрунтя для надання більш своєчасних статистичних результатів та зменшення частоти обстежень; 3) підвищують точність звітування за рахунок просторового охоплення; 4) підвищують обсяги статистичних даних, сприяють перевірці загальних статистичних даних та забезпечують деталізацію індикаторів.

Міжвідомча група експертів з індикаторів ЦСР визначила **п'ять пріоритетних напрямів наукового забезпечення ефективності процесу досягнення ЦСР**: розроблення набору практичних показників; створення програми моніторингу досягнення цих показників; оцінювання процесу руху до поставлених цілей; вдосконалення інфраструктури спостережень; стандартизація джерел та якості даних. Експертною групою представлено пропозиції ([6], Статистична комісія ООН, березень 2017 р.) щодо доопрацювання глобальної індикаторної бази в контексті появи нових джерел інформації та розроблення методології їх визначення. З метою полегшення впровадження глобальних показників вони були класифіковані за ступенем методологічного опрацювання та загальної доступності даних на три рівні: 1 – є встановлена методологія визначення показника, дані представляються країнами на регулярній основі; 2 – є встановлена методологія, дані надаються нерегулярно; 3 – відсутня встановлена методологія визначення показника. Станом на липень 2020 р. з 246 показників оновленої глобальної індикаторної бази 123 показники відносяться до рівня 1, 106 показників – до рівня 2, та 2 показники, які мають кілька рівнів (різні компоненти показника класифікуються на різні рівні).

Фахівцями GEO та CEOS (Committee on Earth Observation Satellites) були проведені оцінки ролі супутникових спостережень в реалізації глобальної індикаторної бази в даний час та у майбутньому. Результати аналізу ілюструє табл. 1.1 [7, 8], яка містить перелік цілей, завдань та індикаторів глобального рівня, які прямо чи опосередковано можуть бути підтримані даними спостереження Землі. Як видно, супутникові дані у високому ступені відповідають вимогам глобальних спостережень і можуть використовуватися для визначення ряду індикаторів ЦСР, при цьому, за даними експертів, 45 % з них, відносяться до рівня 1, 24 % – до рівня 2 і 31 % – до рівня 3.

Таблиця 1.1. Цілі, завдання та індикатори ООН, що можуть підтримуватися даними космічних спостережень

Завдання									Цілі	Індикатори				
						1.4	1.5	1	1.4.2 ²					
					2.3	2.4	2.c	2	2.4.1 ²					
				3.3	3.4	3.9	3.d	3	3.9.1 ¹					
								4						
							5.a	5	5.a.1 ²					
	6.1	6.3	6.4	6.5	6.6	6.a	6.b	6	6.3.1 ²	6.3.2 ²	6.4.2 ¹	6.5.1 ¹	6.6.1 ¹	
				7.2	7.3	7.a	7.b	7	7.1.1 ¹					
							8.4	8						
		9.1	9.2	9.3	9.4	9.5	9.a	9	9.1.1 ²	9.4.1 ¹				
					10.6	10.7	10.a	10						
	11.1	11.3	11.4	11.5	11.6	11.7	11.b	11.c	11	11.1.1 ¹	11.2.1 ²	11.3.1 ²	11.6.2 ¹	11.7.1 ²
				12.2	12.4	12.8	12.a	12.b	12	12.a.1 ¹				
				13.1	13.2	13.3	13.b	13	13.1.1 ²					
	14.1	14.2	14.3	14.4	14.6	14.7	14.a	14	14.3.1 ²	14.4.1 ¹	14.5.1 ¹			
	15.1	15.2	15.3	15.4	15.5	15.7	15.8	15.9	15	15.1.1 ¹	15.2.1 ¹	15.3.1 ¹	15.4.1 ¹	15.4.2 ¹
							16.8	16						
17.2	17.3	17.6	17.7	17.8	17.9	17.16	17.17	17.18	17	17.6.1 ¹	17.18.1 ²			

Примітка. Верхній символ при індикаторах вказує на віднесення його до певного рівня класифікації (див. вище)

Принципове значення для активізації впровадження супутникової інформації в метрики глобального управління має політика GEO та інших міжнародних структур щодо відкритості даних. Вже протягом тривалого часу дослідники та користувачі можуть одержувати у відкритому доступі та на регулярній основі оперативні та архівні дані супутників Sentinel, Landsat, Aura, Terra, Aqua та ін.

Наступним суттєвим кроком для впровадження супутникових даних є **визначення істотних змінних – Essential Variables (EVs)**, під якими розуміють «мінімальний набір змінних, які визначають стан системи та її розвиток, і мають вирішальне значення для прогнозування розвитку системи та дозволяють визначати метрики, що контролюють траєкторію системи». Це поняття служить характеристикою моделей екосистем і не включає технологічні характеристики, такі, наприклад, як

просторове та часове розрізнення. Оскільки число показників моделі може бути великим, для моделювання відбирають головні, без яких модель втрачає сенс. Решта змінних при цьому не беруться до уваги, проте вони «неістотні» не взагалі, а лише для даного завдання. З цього випливає, що істотні змінні повинні бути модулями, а не фізичними та/або біохімічними характеристиками. Тому кожна істотна змінна при побудові моделі системи повинна визначатися як за певними алгоритмами, так і шляхом вибору рівня організації, на якому виникає потрібний модуль, який однозначно забезпечує прогнозовану поведінку системи.

Визначення істотних змінних з точки зору методології побудови системи моніторингу ЦСР є ланцюгом, який поєднує дані вимірювань, моделі екосистем та індикатори сталого розвитку. В той же час це відносно самостійна проблема, оскільки EVs виступають потужним інструментом спілкування та оцінок, який дозволяє вченим та практикам підвищувати рівень розуміння змін в екосистемах та формувати політику. У більшості тематичних сфер розробка наборів EVs передбачає процес узгодження того, що є важливим для цілей відповідної спільноти фахівців. Незважаючи на те, що у різних спільнотах існує багато відмінностей у критеріях та методологіях розробки наборів EVs, існує також значне перехрещення в різних темах (найбільш очевидний приклад – теми «Клімат» та «Вода»).

На сьогодні тематичними областями з практично сформованим списком EVs є «Клімат» (ECV), «Океан» (EOV) та «Біорізноманіття» (EBV). Наближається до узгодження комплекс EVs для тематики водного середовища та сільського господарства (в рамках GEOSS). Додаткова робота очікується для узгодження наборів EV для катастроф, охорони здоров'я та екосистем. Українські фахівці на поточному етапі роботи користуються вже напрацьованим міжнародною спільнотою набором EVs, а власна робота (як і вироблення ЦСР) ще не розпочата. Очевидно, що скористатися тільки напрацюваннями міжнародних груп фахівців не вдасться, оскільки для кожного регіону необхідно обрати найбільш релевантні моделі та відповідні істотні змінні.

Важливою методичною проблемою, яка має вирішуватися на національному рівні, є застосування Nexus підходу (від лат. Nectare – зв'язувати), який став ключовим для опису складних взаємозв'язків між сферами Продовольства, Енергії та Води (Food, Energy, Water – FEW) [9, 10]. Традиційно більшість глобальних викликів, хоч і взаємопов'язаних, вирішується окремо, при цьому рішення, реалізовані в одному секторі, можуть мати непередбачені та небезпечні наслідки в інших секторах. Це обумовлено взаємопов'язаними характеристиками систем FEW (очевидно, що виробництво продуктів харчування або енергії обмежується, скажімо, наявністю води), заходи в яких зазвичай аналізуються та плануються незалежно.

Nexus підхід передбачає вивчення взаємодії між різними секторами і переведення управління ресурсами від ізольованих до інтегрованих та економічно ефективних заходів щодо визначення спільних переваг у рамках певних ланцюгів виробництва продукції [11]. Кількісні дослідження різних авторів показали, що підходи

до взаємодії можуть виявити синергію та компроміси між секторами, зменшити негативні наслідки та сприяти інтегрованому плануванню та управлінню. Разом з тим, аналіз проведених досліджень свідчить, що сьогоднішній рівень є далеким від можливостей оцінювання прогресу у досягненні цілей сталого розвитку. В той же час визнано, що Nexus FEW прямо чи опосередковано стосується всіх без виключення ЦСР.

Труднощі застосування цього підходу можна розділити на фундаментальні та технологічні. До перших слід віднести складність формулювання економічних індикаторів, на які впливають компоненти систем FEW. Серед технологічних труднощів автори [12] вбачають три області. По-перше, обмежена спостережуваність ускладнює збирання даних у системах FEW як всередині, так і між ними (наприклад, дуже важко вивчати розподіл підземних вод та енергії вітру). По-друге, управління даними глобальних спостережень FEW не є адекватним: невеликі набори даних, зібрані з різних джерел та різних географічних регіонів, не можуть бути повністю використані разом. По-третє, сучасні дослідження ускладнюються відсутністю ефективних протоколів обміну даними між секторами та країнами.

Перелічені проблеми дозволяють зрозуміти, чому на сьогодні розроблено здебільшого часткові підходи (Вода – Продовольство чи Енергія – Вода), а застосування Nexus FEW до оцінювання ЦСР потребує великих зусиль. У напрямках, що розроблюються науковою спільнотою, є певні успіхи у вирішенні фізичних або соціальних проблем, в той же час вирішення проблем на рівні геоінформаційних задач (зокрема, збору, інтеграції, керування, аналізу та візуалізації просторових даних, пов'язаних з FEW-зв'язком) ще попереду.

Рішення масштабного завдання застосування Nexus підходу до оцінювання ЦСР провокує революцію в технології використання даних [14, 15]. Це, в першу чергу, пов'язано з **проблемою Big Data**, яка обумовлена не тільки великим обсягом даних, але також їх різноманітністю, необхідною швидкістю обробки, фільтрації, документування її якості і невизначеностей, а також вимогами до візуалізації (т.з. проблема «5V»). Ця проблема, взагалі кажучи, виникає в різних областях сучасної науки та має безпосереднє відношення до GEOSS – інтегрованої системи великого масштабу, що складається з безлічі діючих окремо підсистем, пов'язаних, однак, в інтересах вирішення спільних завдань. Варіант рішення, запропонований в рамках створення EuroGEOSS, передбачає організацію посередницької (брокерської) підсистеми – DAB (Discovery and Access Broker), яка забезпечує інтерфейс між користувачами і провайдерами [14]. Ця методологія передбачає ключові нововведення: повністю посередницький (брокерський) підхід, побудований на технології хмарних обчислень, що має забезпечити всі «5V» завдань. Інший інструмент роботи з використанням великих обсягів даних – створення так званих **«кубів даних» (Data Cube)** – тривимірних (3D або вище) наборів даних для інтерпретації часової послідовності зображень. При цьому використовується представлення об'єкту мінімальним набором

полів та методів, які прийнятні для вирішуваних проблем, що зокрема передбачено у заходах EuroGEOSS.

При побудові української підсистеми моніторингу ЦСР з використанням супутникових даних виникне питання щодо власних підходів до вирішення проблеми забезпечення європейського рівня надання інформаційних сервісів і гармонійного входження в розроблювані системи EuroGEOSS.

1.3. Проблеми залучення дистанційних даних до статистичної звітності

Створення системи систем GEOSS на основі впровадження інноваційних технологій аерокосмічного моніторингу передбачає доповнення та вдосконалення офіційної статистики. Оскільки державними органами, що відповідають за моніторинг досягнення цілей сталого розвитку є національні статистичні органи (НСО), дистанційні дані мають узгоджуватися з відповідними принципами і стандартами. Кожна країна вирішує цю проблему, виходячи з власних нормативів, водночас усвідомлені і деякі загальні засади, які формулюються на міжнародному рівні [16]. Досвід країн, які вже впровадили модернізацію власної статистичної звітності свідчить про наступні позитивні наслідки такого впровадження: одержання більш оперативної та своєчасної інформації, зниження навантаження на респондентів, модернізація процесу вироблення статистичної інформації, нові продукти та послуги (наприклад, карти та візуалізація), зменшення загальних витрат [16].

Першим кроком модернізації статистичної звітності виступає визначення **спектру статистичних застосувань**, які мають перспективу покращення внаслідок залучення дистанційних даних. Цей крок має визначити алгоритмічний підхід та статистичні додатки, де використання дистанційних даних матиме організаційні та економічні переваги. Очевидно, що він з часом збільшуватиметься із підвищенням якості, покриття, частоти та обсягів наявної супутникової інформації. Визначення переваг пов'язане з **оцінюванням якості інформації** та можливостей її застосування. Організації, що надають інформацію, орієнтуються на рівень точності та обґрунтованості відповідно до вимог існуючих стандартів [17–19].

В той же час для НСО якість означає перш за все «придатність за призначенням», тобто оцінку результату, виходячи з конкретної цілі або завдання. Отже, якість виступає багатовимірною концепцією, яка включає не лише точність статистики, але й інші аспекти, такі як релевантність, доступність, своєчасність, цілісність, здатність до інтерпретації, просторове та часове покриття, незалежність респондентів, уникнення політичних чи інших упереджень тощо. В роботі [20] визначено наступні вимоги з точки зору користувача:

- повнота: наявність необхідних ознак, їх атрибутів та зв'язків;
- логічна узгодженість: ступінь дотримання логічних правил структури даних;

- просторова та часова точність;
- тематична релевантність: точність кількісних ознак та коректність не кількісних ознак, їх класифікацій та взаємозв'язків;
- інформація про походження даних, включаючи деталі застосованої обробки.

За останнє десятиліття було докладено значних зусиль для формулювання надійних вимог до дистанційних даних у статистиці. Зокрема австралійське бюро статистики затвердило матрицю якості (The ABS Data Quality Framework (ABS DQF) 2009 р.) яка визначає сім вимірів якості даних, які відповідають вимогам НСО і водночас принципам стандартів ISO: інституційне середовище, актуальність, своєчасність, точність, узгодженість, доступність, придатність до інтерпретації.

Фахівці CEOS ввели узагальнюючу вимогу до супутникових даних, застосувавши спеціальне визначення : «Аналіз готових даних» (Analysis Ready Data, ARD – це супутникові дані, оброблені відповідно до мінімально необхідного набору вимог користувача та організовані у форму, яка дозволяє безпосереднє використання дистанційних даних без додаткових зусиль користувача). Впровадження концепції ARD, досягнення глобального покриття та безперервності одержання дистанційних даних є ключовими факторами для побудови Куба дистанційних даних типу ARD. Очевидно, що ресурси на виконання цього плану будуть виправдані лише в тому випадку, якщо дані будуть використовуватися багаторазово для минулого, сьогодення та майбутнього.

Місце дистанційних даних у офіційній статистиці та вибір відповідних джерел одержання інформації. Дистанційні дані, як і інші масиви «великих даних», застосовують як для покращення, так і заміни деяких процесів вироблення офіційної статистики. За аналогією з налагодженим використанням адміністративних даних для офіційної статистики передбачається модернізація наступних розділів [21]:

- створення вибірових реєстрів, ідентифікація допоміжної інформації;
- часткова заміна даних, зменшення обсягу вибірки;
- зменшення тривалості обстеження та збагачення набору даних;
- заміна пропущених даних;
- редагування, виявлення та ліквідація аномалій;
- створення більш повних наборів даних;
- порівняння даних – забезпечення достовірності;
- генерування нових аналітичних візій, підвищення рівня розуміння економічних, соціальних та екологічних явищ.

Знаковою тенденцією останніх років є використання зростаючої кількості дистанційної інформації різного походження та характеристик. Якщо донедавна типовим було використання загальнодоступних даних з датчиків (таких як MODIS та Landsat), то наразі працює значно більший їх набір із покращеними технічними характеристиками; ця тенденція призводить до виникнення епохи «Big Data», в якій точність та різноманітність вимагатимуть нових підходів до обрання джерел

інформації. Наприклад, якщо сфера інтересів полягає в моніторингу таких процесів як ерозія, деградація земель, типи сільськогосподарських культур, лісовий покрив, ступінь заболоченості земель, евапотранспірація, розширення міст, то очевидно, що часові ряди Landsat залишаються прийнятними. Однак, для спостереження, наприклад, опадів потрібні зображення SAR з високим розрізненням в інтерферометричному режимі. Якщо потрібна геопросторова карта базової екологічної системи чи природних ресурсів, найкраще обрати доступні зображення найвищого просторового розрізнення.

Наявна на сьогодні супутникова інформація надається трьома типами постачальників: національними та багатонаціональними космічними агентствами (більшість з яких є частиною CEOS), комерційними індустріальними приватними постачальниками, а також приватними постачальниками, які пов'язані з національними космічними агентствами. Дані, що надаються у відповідних ресурсах, згадуються як «відкриті» або «обмежені» супутникові джерела даних. Більшість відкритих джерел – від національних та багатонаціональних космічних агентств, а найбільш обмежені джерела – комерційні провайдери, які зосереджуються на даних високого просторового розрізнення для завдань оборони, точного землеробства та точного картографування. Поява на ринку великої кількості малих космічних апаратів спостереження Землі (наносати, кубсати, мікросати тощо) суттєво розширюють діапазон вирішуваних проблем, оскільки доповнюють можливості довготривалих місій з високоточними вимірюваннями. Революційні зміни у можливостях використання супутникової інформації спричинив вільний доступ до даних супутників ESA Sentinel.

Серед великих компаній, що володіють апаратами та надають сервіси, відзначимо Digital Globe (<https://www.digitalglobe.com/>), AIRBUS Industries (<http://www.satimagingcorp.com/satellite-sensors/other-satellite-sensors>), Planet (<https://www.planet.com/>), Google Terra Bella (<https://terrabella.google.com>). Інший тип підходу – це компанії, яким надають дані та сервіси від постачальників: Google Earth Engine, Amazon Web Services, Facebook тощо. Детальна інформація про джерела даних, які можуть бути використані для актуальних проблем України, наведено у наступному розділі.

Висновки

Міжнародна програма створення системи систем спостереження за Землею GEOSS демонструє динамічний розвиток діяльності та низку позитивних конкретних результатів в інтересах вирішення актуальних соціально-економічних проблем, зокрема, сформульованих ООН цілей сталого розвитку, моніторингу глобальних кліматичних змін, катастрофічних подій. Досягнутий на сьогодні рівень діяльності свідчить про досягнення світовою спільнотою якісно нового технологічного рівня у створенні основ цифрової економіки, методології оброблення великих обсягів даних (Big Data) та ефективності використання супутникової інформації.

Система моніторингу глобальної структури показників є підґрунтям впровадження принципів сталого розвитку до національної політики, яка вимагатиме інтеграції та експлуатації багатьох нових наборів даних, а також істотної модернізації національних статистичних і геопросторових систем.

Для України залучення до міжнародних зусиль відповідно до «Порядку денного – 2030» має принципове значення як з огляду на національні інтереси, так і в контексті євроінтеграційних процесів. В цілому існуюча система документів лише частково відповідає ідеології «Порядку денного – 2030», при цьому відзначається тенденція уникнення індикаторів або інших показників, які передбачають кількісне оцінювання. Вже зараз окремі органи виконавчої влади мають надавати поточну інформацію щодо індикаторів СР з використанням супутникових даних. Відповідна робота на національному рівні тільки-но розпочалась і потребуватиме злагодженої роботи різних інституцій та науковців, як і координації на міжнародному рівні.

Організація міжнародної співпраці, спільно розроблювані технології та методи моніторингу відповідають інтересам України і можуть суттєво сприяти вирішенню актуальних для нашої країни проблем екологічного та ресурсного моніторингу, передбачення кризових явищ тощо. Серед актуальних для України завдань співпраці з GEO є вироблення нового плану власних робіт як частини робочого плану GEO, а також активна робота у новій структурі EuroGEO.

Розділ 2. Перспективи застосування супутникових даних для оцінювання індикаторів сталого розвитку України

Впровадження методів супутникового моніторингу на національному рівні передбачає визначення джерел супутникової інформації, оцінювання їх якості та придатності для визначення сталого розвитку, розроблення методів їх спільного застосування з іншими даними. В цьому розділі викладені результати двох перших етапів аналізу наявних джерел супутникової інформації. Перший етап, який оснований на визначенні у Національній доповіді «Цілі сталого розвитку: Україна» [1] цілях (завданнях та індикаторах) сталого розвитку, дає загальне уявлення про потенційний внесок дистанційних даних [2]. Зрозуміло, що цей перелік з часом змінюватиметься, як і кількість та якість нових дистанційних даних. Тому у другому етапі проведено аналіз тих джерел, які використовуються (або плануються для використання) для оцінювання індикаторів сталого розвитку іншими країнами.

2.1. Національні цілі, завдання та індикатори [1], що можуть оцінюватися із залученням супутникових даних

Цілі та завдання	Індикатори	Місія / супутник, космічне агентство
Ціль 2. Подолання голоду, розвиток сільського господарства		
2.3. Забезпечити створення стійких систем виробництва продуктів харчування, що сприяють збереженню екосистем і поступово покращують якість земель та ґрунтів, в першу чергу за рахунок використання інноваційних технологій	2.3.1. Індекс виробництва харчових продуктів, % 2.3.3. Частка сільськогосподарських угідь під органічним виробництвом у загальній площі сільськогосподарських угідь України, %	Sentinel-2, Sentinel-3 (ESA) Landsat 8 (NASA)
Ціль 6. Чиста вода та належні санітарні умови		
6.5. Забезпечити впровадження інтегрованого управління водними ресурсами	6.5.1. Кількість річкових басейнів, для яких затверджені плани управління	Sentinel-2 (ESA), Landsat 8 (NASA)
Ціль 11. Сталій розвиток міст і громад		
11.2. Забезпечити розвиток поселень і територій виключно на засадах комплексного планування та управління за участю громадськості	11.2.1. Частка регіонів, що затвердили і впроваджують регіональні стратегії розвитку та плани заходів з їх реалізації, розроблені за участю громадськості, %	Sentinel-2, Sentinel-3 (ESA), Landsat 8 (NASA)
11.3. Забезпечити збереження культурної і природної спадщини із залученням приватного сектору	11.3.3. Площа природно-заповідного фонду загальнодержавного значення, % території країни	Sentinel-2 (ESA) Landsat 8 (NASA)
11.4. Забезпечити своєчасне оповіщення населення про надзвичайні ситуації з використанням інноваційних технологій	11.4.1. Рівень реконструкції загальнодержавної системи централізованого оповіщення населення, %	Sentinel-2, Sentinel-3 (ESA), Landsat 8 (NASA)

<p>11.5. Зменшити негативний вплив забруднюючих речовин, у т.ч. на довкілля міст, шляхом використання інноваційних технологій</p>	<p>11.5.1. Обсяг викидів у атмосферне повітря забруднюючих речовин, % до рівня 2015 р. 11.5.2. Сумарний обсяг викидів в атмосферне повітря забруднюючих речовин від стаціонарних джерел, приведений до оксиду вуглецю з урахуванням відносної агресивності основних забруднювачів, % до рівня 2015 р. 11.5.3. Сумарний обсяг викидів в атмосферне повітря забруднюючих речовин від пересувних джерел, приведений до оксиду вуглецю з урахуванням відносної агресивності основних забруднювачів, % до рівня 2015 р.</p>	<p>Sentinel-5P (ESA), Aura (NASA), GOSAT(JAXA), OCO-2 (NASA), Suomi NPP (NOAA), OMI (NASA) GOME-2 (ESA) ODIN (ESA)</p>
<p>Ціль 13. Пом'якшення наслідків зміни клімату</p>		
<p>13.1. Обмежити викиди парникових газів в економіці</p>	<p>13.1.1. Обсяг викидів парникових газів, % до рівня 1990 р.</p>	<p>Envisat (SCIAMACHY, NASA), Aqua (NASA), GOSAT (Tanso-FTS,2009, JAXA), OCO-2 (2014, NASA), Sentinel-5P (ESA), Aura (NASA)</p>
<p>Ціль 14. Збереження морських ресурсів</p>		
<p>14.1. Скоротити забруднення морського середовища 14.2. Забезпечити стале використання і захист морських та прибережних екосистем, підвищення їх стійкості та відновлення на основі інноваційних технологій</p>	<p>14.1.1. Частка скидів забруднених стічних вод у загальному обсязі скидів до морського середовища, % 14.2.2. Площа територій та об'єктів природно-заповідного фонду приморських областей, % від території приморських областей 14.2.3. Площа територій та об'єктів природно-заповідного фонду в акваторії Чорного та Азовського морів, тис. га</p>	<p>Sentinel-3 (ESA), Sentinel-2, Sentinel-3 (ESA), Landsat 8 (NASA)</p>
<p>Ціль 15. Захист та відновлення екосистем суші</p>		
<p>15.1. Забезпечити збереження, відновлення та стале використання наземних і внутрішніх прісноводних екосистем</p>	<p>15.1.1. Площа територій та об'єктів природно-заповідного фонду, тис. га 15.1.2. Частка площі територій та об'єктів природно-заповідного фонду у загальній території країни, % 15.1.3. Частка площі територій національної екологічної мережі у загальній території країни, %</p>	<p>Sentinel-2, Sentinel-3 (ESA), Landsat 8 (NASA)</p>
<p>15.2. Сприяти сталому управлінню лісами</p>	<p>15.2.1. Лісистість території країни, %</p>	<p>Sentinel-2, Sentinel-3 (ESA), Landsat 8 (NASA)</p>

15.3. Відновити деградовані землі та ґрунти з використанням інноваційних технологій	15.3.1. Кількість визначених та реалізованих завдань щодо досягнення нейтрального рівня деградації земель, одиниць 15.3.2. Площа орних земель (ріллі), тис. га 15.3.4. Площа земель органічного виробництва, тис. га 15.3.5. Площа сільськогосподарських угідь екстенсивного використання (сіножатей, пасовищ) тис. га 15.3.6. Частка площі сільськогосподарських угідь екстенсивного використання (сіножатей, пасовищ) у загальній території країни, %	Sentinel-1, Sentinel-2, Sentinel-3 (ESA), Landsat 8 (NASA)
15.4. Забезпечити збереження гірських екосистем	15.4.1. Площа територій природно-заповідного фонду в гірських регіонах, тис. га 15.4.2. Частка площі територій природно-заповідного фонду в гірських регіонах у загальній території країни, %	Sentinel-2, Sentinel-3 (ESA)

Наведені дані свідчать, що супутникові дані прямо чи опосередковано можуть бути залучені для оцінювання досягнення 6 цілей, 13 завдань та 24 індикаторів, які наведені у Національній доповіді «Цілі сталого розвитку: Україна» [1]. Це означає, що приблизно 15 % індикаторів доцільно визначати із залученням дистанційної інформації. Відповідні оцінки для різних прогнозів використання супутникових даних коливаються від 20% до 40% в залежності від позиції щодо значущості опосередкованого впливу [3].

2.2. Джерела супутникової інформації, які використовуються для оцінювання індикаторів досягнення цілей сталого розвитку

Перелік цілей, завдань та індикаторів з Національної доповіді «Цілі сталого розвитку: Україна» [1] складений без урахування можливостей застосування дистанційної інформації. Об'єктивні потреби та міжнародні зобов'язання викликають необхідність розширення наведеного переліку, зокрема, з урахуванням міжнародного досвіду [4–5]. Разом з тим виникає проблема ідентифікації релевантних джерел та оцінки якості інформації.

Для більш скоординованої, ефективної та дієвої системи моніторингу ЦСР науковими спільнотами, що займаються спостереженням Землі, було запропоновано використовувати концепцію істотних змінних (Essential Variables, EVs) [6–7], для визначення тих змінних, які мають великий вплив, високу здійсненність і відносно низьку вартість впровадження. EVs – це «мінімальний набір змінних, які визначають стан і розвиток системи, мають вирішальне значення для прогнозування еволюції системи та дозволяють визначати метрики, які вимірюють траєкторію системи» [8]. Концепція EVs передбачає, що одна EV, яка описує ключовий процес або структуру, може використовуватися для визначення багатьох індикаторів, а також, що дві або більше EV можуть базуватися на одних і тих ж первинних (супутникових)

спостереженнях. Введення обмеженої кількості EVs в якості переходу від первинних спостережень до індикаторів (див. таблиці нижче) цілеспрямовано дозволяє уникнути повторюваності та призводить до універсальності спостережень, дозволяє скоротити кількість спостережень, необхідних для розрахунку індикаторів, та знизити навантаження на системи моніторингу. При цьому підтримується та полегшується управління даними і спостереженнями вздовж всього ланцюжку – від вимірювань, обробки даних до доставки продуктів, інформації та послуг, необхідних кінцевим користувачам.

Інструментом для визначення взаємозв'язків між даними, які надходять з мереж спостережень, EVs та індикаторами ЦСР є Європейська обсерваторія мереж спостереження Землі (European Observatory of Earth Observation Networks, ENEON). Вона дозволяє виявляти перекриття і прогалини у спостереженнях Землі між існуючими мережами та у продуктах для EVs [9].

В основу подальшого аналізу покладено огляд основних ініціатив, каталогів і репозиторіїв відкритих даних EVs та інформаційних продуктів і опубліковані приклади (в деяких випадках – обґрунтовані пропозиції) щодо використання наявних джерел супутникових даних для оцінювання індикаторів ЦСР [9–11]. Дослідження сконцентроване на індикаторах із значним внеском супутникових даних, які доступні через каталоги даних, метадані або інші загальнодоступні платформи. У наведених у **Додатку (стор. 58-85)** таблицях вказані EVs, які на даний час запропоновано використовувати в контексті інформації, необхідної для отримання вимірюваного значення кожного з індикаторів [9]. Кожна з EVs пов'язана з однією з мереж спостереження ENEON, яка несе відповідальність за зберігання, пропозицію або виробництво продуктів даних з різним просторовим і часовим охопленням (*третій стовпчик таблиць*), які можуть допомогти отримати кожну EVs. Окрім використання досвіду міжнародної спільноти автори роботи безпосередньо перевіряли доступність інформації на наведених у таблицях до індикаторів сайтах. *П'ятий стовпчик таблиць* містить продукт супутникових даних – готовий геоінформаційний набір даних, результат обробки супутникової інформації, що містить конкретний параметр, відповідний продукту істотної змінної (EV Product).

Розділ 3. Приклади розроблених та впроваджених технологій

Практичне застосування супутникових даних для оцінювання індикаторів сталого розвитку продемонстроване зокрема у документах космічних агентств, звітах консорціумів, створених для виконання робіт за напрямами «Клімат» (ECV), «Океан» (EOV) та «Біорізноманіття» (EBV), відповідних публікаціях (див. посилання до розд. 2, 3). Результати аналізу, наведені у попередньому розділі свідчать про значні потенційні можливості залучення супутникових даних для нагальних завдань України у сфері екологічного моніторингу. У даному розділі наведені розроблені та впроваджені інформаційні технології для чотирьох конкретних індикаторів сталого розвитку, а саме:

- 2.4.1. Частка сільськогосподарських земель в умовах продуктивного та стійкого сільського господарства;
 - 15.1.1. Лісова площа, як частка загальної земельної площі;
 - 15.3.1. Частка деградованих земель від загальної земельної площі;
 - 11.3.1. Відношення показника землекористування до показника приросту населення.

Зазначені індикатори є одними з найбільш затребуваних в процесах оцінювання екологічного стану довкілля, забезпечення продовольчої безпеки, так і в контексті звітування України перед міжнародними організаціями. Водночас визначення цих індикаторів суттєвим чином базується на супутниковій інформації, яка є доступною і надійною. Отже окрім практичної значущості наведені результати демонструють потенційні можливості космічних інформаційних технологій у моніторингу параметрів сталого розвитку.

Процес обчислення трьох зазначених показників СР розроблено в Інституті космічних досліджень (схема на рис. 3.1) і передбачає використання супутникових та наземних даних, *суттєвих змінних (EV)*, індексів вегетації (VI) а також метеорологічних даних.

Методологія розрахунку індексу 15.3.1 розроблювалась в рамках пілотного проєкту Комітету ООН з питань боротьби з опустелюванням та Програмою сприяння безпеці. Вона базується на наборі даних ЄКА, отриманих в рамках «Ініціативи щодо зміни клімату для земного покриву» та «JRC LPD». Ці набори даних є глобальними і тому мають низьке просторове розрізнення, отже є не зовсім точними. Тому застосовувалась карта земельного покриву, що отримана за власною методологією глибинного навчання на основі зображень із високим просторовим розрізненням Landsat, Sentinel-2 та Sentinel-1 для території України. Якість та точність таких карт земельного покриву набагато вищі, ніж загальнодоступних (покращення складає не менше 10%). Також у цьому дослідженні запропоновано нову методологію побудови карти продуктивності земель із використанням даних з високим просторовим

розрізненням Sentinel 2 та Landsat-8, що дозволяє розрахувати індикатори 15.3.1, 15.1.1 та 2.4.1 точніше ніж до цього часу.

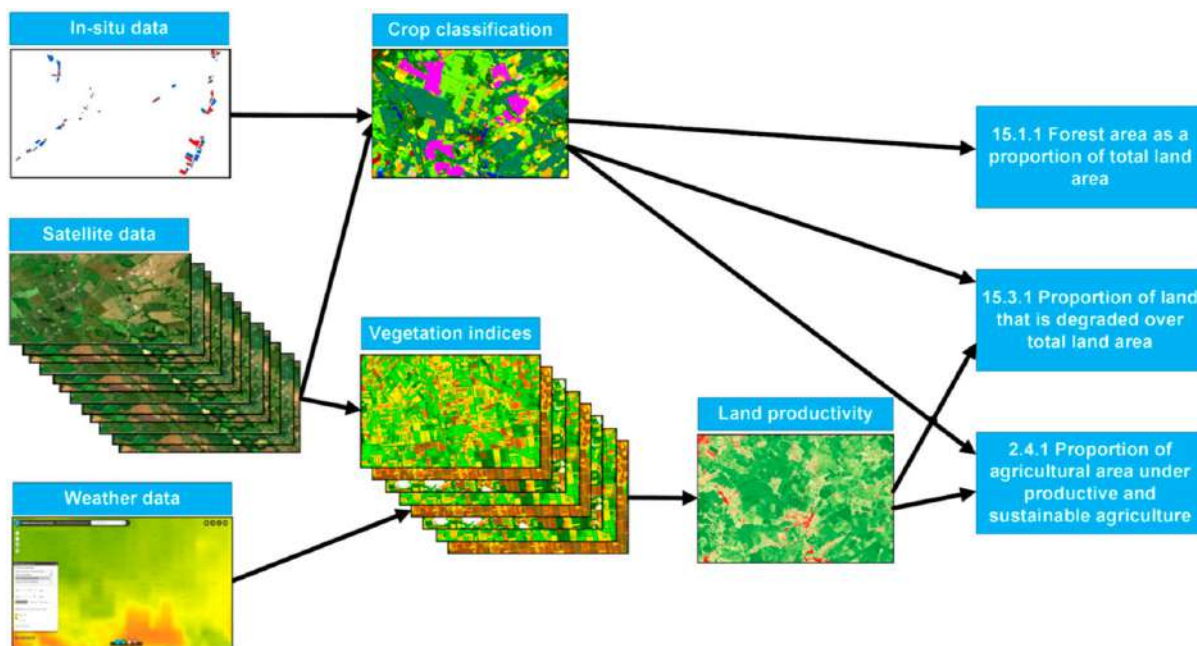


Рис. 3.1. Схема обчислення показників сталого розвитку 2.4.1, 15.1.1, 15.3.1

3.1. Процес обчислення індикаторів 2.4.1, 15.1.1, 15.3.1

Індикатор «15.3.1. Частка деградованих земель від загальної площі земель» є бінарною величиною, що складається з характеристик – деградована/не деградована; кількісна оцінка виконується шляхом аналізу наявних даних для субіндикаторів, що підлягають валідації, та повідомлюються національними органами влади (а саме: Зміни в земному покриві, Продуктивність земель та Запаси вуглецю). Отже, оцінка базується на статистичному принципі ‘One Out, All Out’ за оцінкою змін у субіндикаторі (<https://unstats.un.org/sdgs/metadata/files/Metadata-15-03-01.pdf>) [1]. Цей принцип враховує три типи змін у субіндикаторах, які визначаються як позитивні або поліпшені, негативні чи спадаючі та стійкі або незмінні. Якщо один із субіндикаторів має негативні зміни для певної області, тоді ця область вважається такою, що має негативну продуктивність.

Запропонована методологія використовує глибинне навчання, зокрема ансамблі нейронних мереж [2]. В основі архітектури лежать багатошарові перцептрони (MLP), які навчаються з використанням різних параметрів та архітектур (кількість прихованих шарів), і формують сукупність, яка перевершує будь-який з окремих MLP. Згладжена лінійна частка функції (ReLU) використовується як функція активації нейронів у прихованих шарах, тренування MLP виконується за допомогою стохастичного оптимізатора на основі градієнта, запропонованого [3]. Щоб уникнути перенавчання, використовували регуляризацию L2 з коефіцієнтом регуляризації встановленим на 0,1

та швидкістю навчання встановленою на 10^{-3} . Ансамбль нейронних мереж використовується для забезпечення класифікації культур та побудови карт земельного покриття для України з використанням зображень з високим просторовим розрізненням зі супутників Landsat 8, Sentinel-1 та Sentinel-2 [4-7] та відповідних наземних даних за 2000, 2010, 2016 та 2017 роки [8-10]. Просторове розрізнення отриманих карт становить 30 м для 2000, 2010 років та 10 м для 2016, 2017 років (рис. 3.2). Загальна точність покращується більше, ніж на 10% порівняно з набором даних ESA's Climate Change Initiative Land Cover (отриманих в рамках Ініціативи з питань змін клімату для земельного покриття, ESA); коефіцієнт «каппа» для набору даних ESA's Climate Change Initiative Land Cover становить 0,75, тоді як коефіцієнт «каппа» для карти, отриманої нами, становить 0,9 [11]. На рисунку 3.3 показано різницю між класифікаційними картами ESA's Climate Change Initiative Land Cover для Київської області за 2015 рік із низьким просторовим розрізненням та нашою – за 2016 рік з високим просторовим розрізненням.

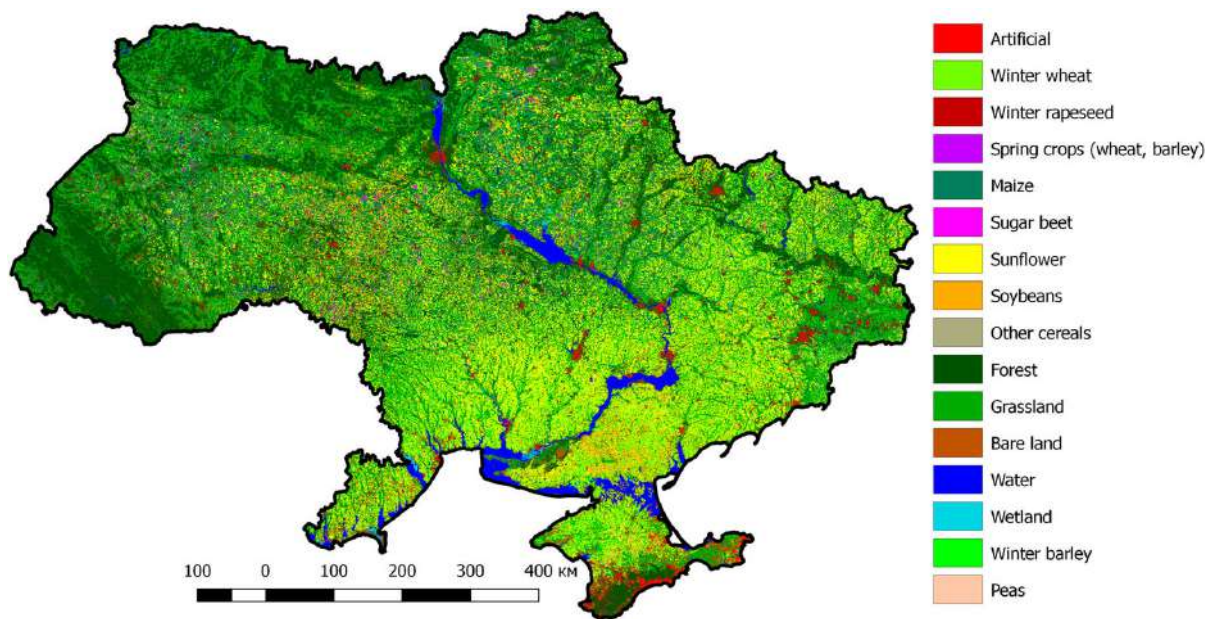


Рис. 3.2. Карта класифікації культур з просторовим розрізненням 10 м для України, 2017 р.

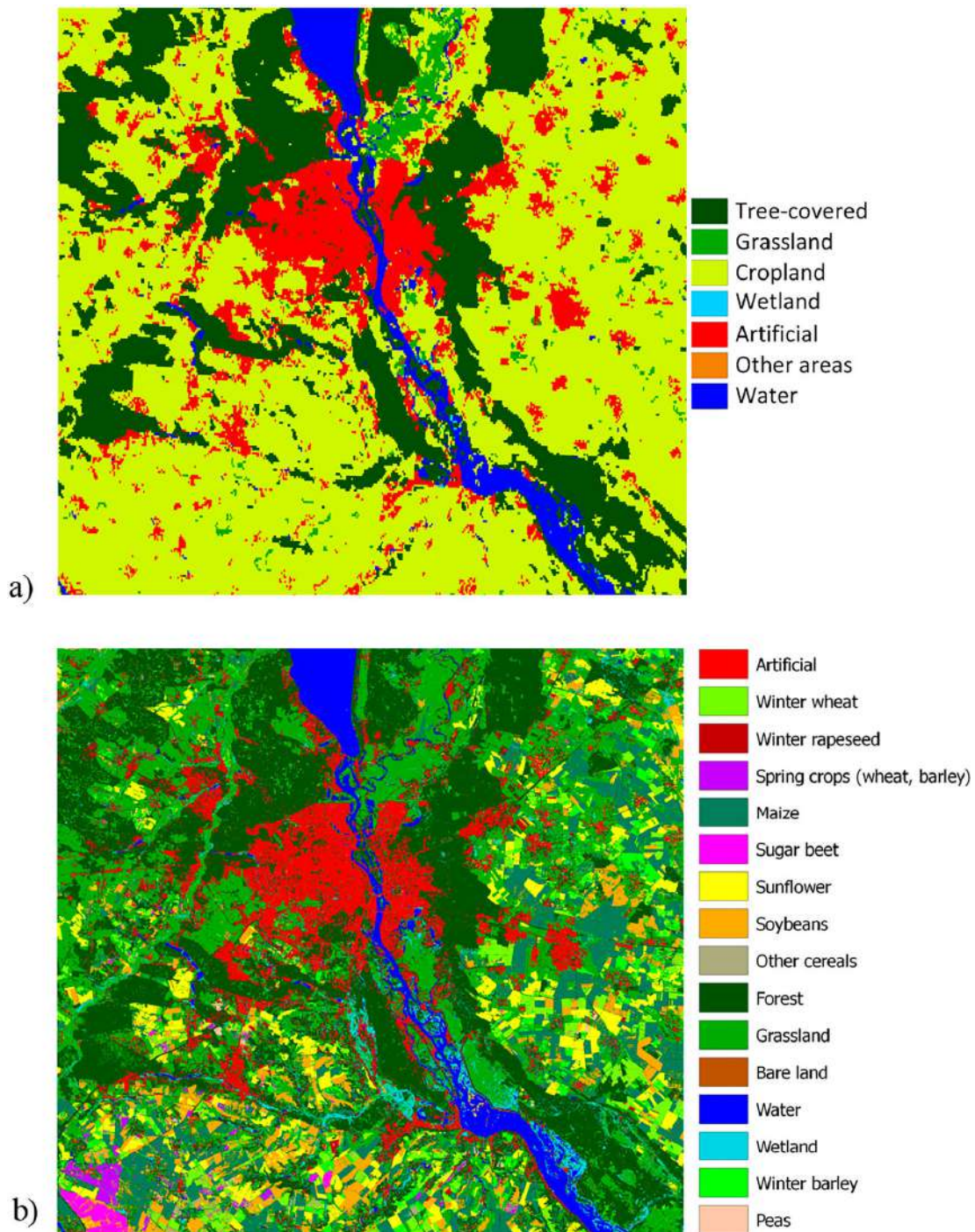


Рис. 3.3. Візуальне порівняння наземного покриття для Києва: (а) за класифікаційними картами ESA CCI-LC з просторовим розрізненням 300 м та (б) класифікаційної карти врожаю з просторовим розрізненням 10 м

Використання гармонізованих даних Landsat та Sentinel 2 для оцінки продуктивності врожаю та врожайності. Такі оцінки є важливими для моніторингу та оцінки деградації земель, що зазвичай визначається як виробництво органічної речовини в процесі фотосинтезу [12]. Поточні обчислення урожайності, засновані на

RS-обчислення базуються на підході Монтейта [13], що використовує зв'язок між поглиненим фотосинтетичним активним випромінюванням (APAR) та ефективністю використання світла (LUE) [14, 15]. З урахуванням продукції рослинництва врожайність сільськогосподарських культур можна оцінити за допомогою індексу врожаю (HI), який визначається співвідношенням маси зерна до надземної біомаси [16-18]. Слід зазначити, що продукція рослинництва, як правило, накопичується протягом вегетаційного періоду, і, отже, оцінка продуктивності врожаю вимагає використання супутникових даних через невеликі проміжки часу. До недавнього часу такі спостереження переважно виконувались за допомогою даних з середнім просторовим розрізненням, наприклад, зі супутника MODIS, який забезпечує щоденні спостереження. За наявності даних Landsat 8 та Sentinel-2, стає можливим надавати дані кожні 3–5 днів [19]. Нормалізований диференційний вегетаційний індекс (NDVI) зазвичай служив в якості «проксі-сервера» для RS обчислень врожайності сільськогосподарських культур або частки поглиненої фотосинтетично-активної сонячної радіації (fAPAR) [20-21]. Однак, маючи справу з просторовим розрізненням 10-30 м, для рослин з високою біомасою може відбуватися насичення [12]. Наприклад, автори роботи [22] показали, що Landsat 8 / Sentinel-2 отримував NDVI, насичений для озимої пшениці з урожайністю > 4 т / га в Україні. Тому необхідно перевірити інші індикатори для зменшення ефекту насичення.

Для визначення індексів рослинності (VIs) та їх кореляції з урожайністю сільськогосподарських культур використано комбінацію даних Landsat 8 та Sentinel-2, що дозволило оцінювати виробництва продукції рослинництва за моделлю Монтейта (Monteith) та надавати точні просторові карти [14]. Оскільки Landsat 8 та Sentinel-2 виявляють деякі геометричні та радіометричні розбіжності, залучався гармонізований продукт НАСА під назвою HLS (Harmonized Landsat Sentinel-2), що зменшує різницю між даними супутників [23]. Спектральні смуги від HLS використовуються для обчислення VIs, як наприклад NDVI та диференційний індекс рослинності (DVI).

Оскільки температура є головним фактором, що впливає на розвиток врожаю, використовуються також метеорологічні дані. Зокрема, розраховували дні вирощування (GDD) для визначення вегетаційного періоду, для яких відбуватиметься накопичення VIs, визначених за RS-обчисленнями [14]. Для розрахунку GDD використовували температуру повітря, отриману зі супутника NASA Modern-Era Retrospective analysis for Research and Applications (MERRA2) на основі ретроспективного аналізу [24]. Статистичні дані про врожайність сільськогосподарських культур були надані Департаментом агропромислового розвитку Кіровоградської обласної державної адміністрації. Для отримання VIs лише на полях озимої пшениці використовували конкретні карти культур, виготовлені для України на 2016, 2017 роки з використанням даних Landsat 8, Sentinel-1 та Sentinel-2 [2].

Процес обчислення індикатора 2.4.1. Індикатор «2.4.1. Частка сільськогосподарських площ в умовах продуктивного та стійкого сільського

господарства» можна розрахувати за тією ж методологією, що запропонована для розрахунку індикатора 15.3.1. Цей показник – є відношенням сільськогосподарської площі, що має позитивне значення продуктивності, до загальної сільськогосподарської площі за правилом «One Out, All Out». Для цього індикатора використовуються ті ж самі субіндикатори, як і для індикатора 15.3.1, але область інтересу – це не вся земельна площа, а лише сільськогосподарські (оброблені) землі. Для цього індикатора особливо важливим є використання супутникових знімків із високою просторовим розрізненням, оскільки змішані пікселі дуже впливають на значення змін субіндикатора.

Для обчислення індикатора 2.4.1 у VLab у якості вхідних даних використовується класифікаційна карта сільськогосподарських культур та часові ряди супутникових знімків протягом декількох років. Використовуючи часові ряди супутникових знімків, оцінюємо тенденцію NDVI за ці кілька років. Під продуктивністю в кожному пікселі ми розглядаємо нахил лінії тренду. Таким чином, наш сценарій обчислює загальну площу сільськогосподарської землі та площу земель з позитивною продуктивністю (стійке та продуктивне сільське господарство) на основі класифікаційної карти сільськогосподарських культур та карти продуктивності. В результаті отримуємо індикатор 2.4.1 для вибраної території – частку загальної площі сільськогосподарських угідь до в умовах продуктивного та стійкого сільського господарства (рис. 3.4).

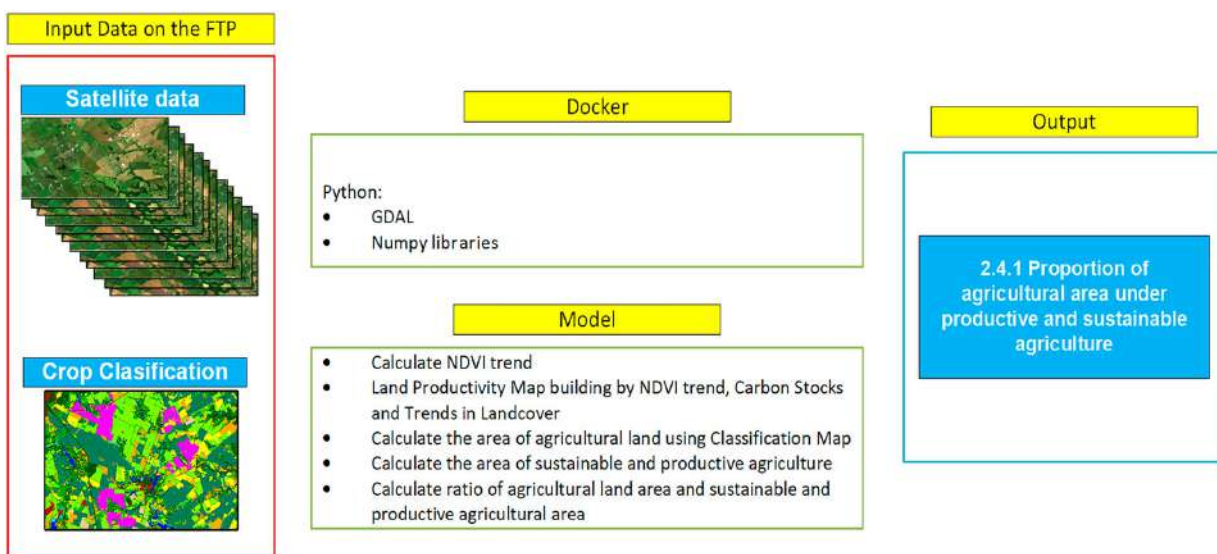


Рис. 3.4. Процес обчислення індикатора 2.4.1 реалізований у платформі VLab

Процес обчислення індикатора 15.1.1. Індикатор «15.1.1. Лісова площа як частка від загальної площі земель» – це відношення площі лісу до всієї площі земель. Загальна площа земель оцінюється шляхом вилучення водні та заболочені території, за допомогою класифікаційної карти. Результати обчислення індикатора у порівнянні із статистичними даними для трьох років наведені у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1. Площа лісу як частка загальної площі земель за статистикою та класифікаційними картами, отриманими ІКД НАНУ та ДКАУ у 2000, 2010 та 2016 роках

Роки	2000	2010	2016
Статистичні дані	0.172	0.172	0.176
Дані, отримані з карт класифікації	0.176	0.179	0.189

Для обчислення індикатора 15.3.1 у VLab в якості вхідних даних використовується карта змін земельного покриття та карта продуктивності земель, обчислюється площа продуктивної землі та загальна площа землі, вихідними даними є їх співвідношення (рис. 3.5).

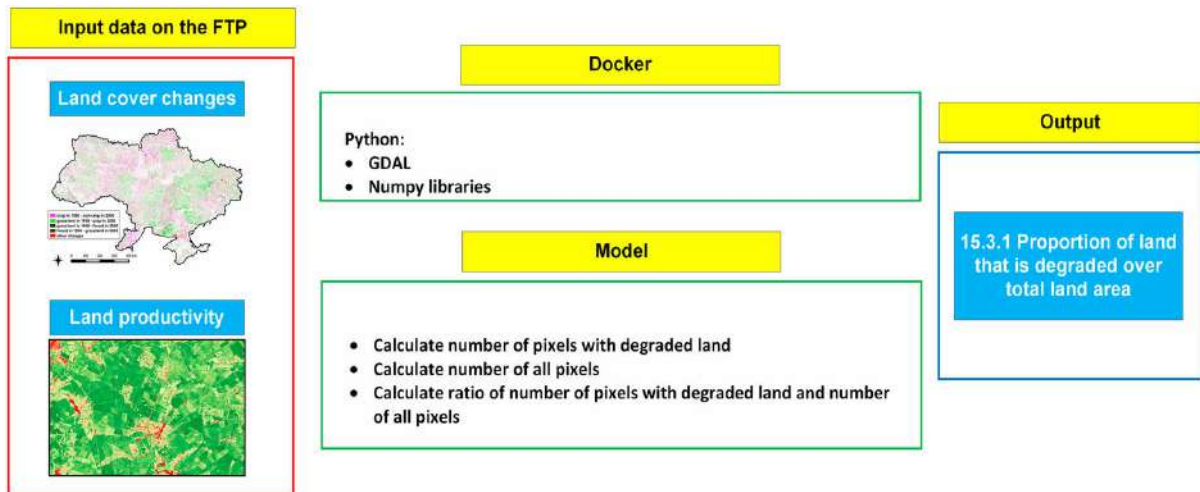


Рис. 3.5. Процес обчислення індикатора 15.3.1 реалізований у платформі VLab

Процес обчислення реалізується у вигляді скриптів python у докері, які можна імпортувати у платформу Vlab з подальшим запуском робочого процесу. Процес розрахунку індикатора SGD 2.4.1 доступний через сховище GitHub (https://github.com/LeonidShumilo/Vlab_241). Щоб запустити цей робочий процес (доступний як тест модель на сайті VLAB), користувач VLAB повинен надати вхідну URL-адресу для завантаження даних Landsat-8 та Sentinel-2 разом із класифікаційною картою для території, що представляє інтерес. Після обробки даних формується текстовий файл із значенням показника SGD 2.4.1 для обраної території

Другий робочий процес реалізований подібним чином і доступний через сховище GitHub (<https://github.com/LeonidShumilo/Vlab1531>). У цьому випадку користувач VLAB повинен надати вхідний URL-адрес для завантаження карти зміни

земельного покриття та карти продуктивності землі. Як результат, програма генерує текстовий файл зі значенням індикатора SDG 15.3.1 для території, що представляє інтерес. Подібна реалізація для обчислення індикатора SDG 15.1.1 доступна через сховище GitHub (<https://github.com/LeonidShumilo/Vlab1511>).

3.2. Попередні висновки щодо оцінювання та використання індикаторів 2.4.1, 15.1.1, 15.3.1

Використовуючи запропонований процес обчислення, показаний на рисунку 1.1, розраховано індекси 15.1.1, 15.3.1 та 2.4.1 для території України. Значення площі лісу та загальної площі суші були отримані з карт земельного покриття для 2000, 2010 та 2016 років. Таким чином, індикатор 15.1.1 був розрахований як частка лісу до від загальної площі землі за ці роки (табл. 3.1). Як статистичні, так і супутникові дані демонструють позитивну динаміку, що свідчить про домінування лісових насаджень над вирубкою лісів в Україні. Карта земельної продуктивності отримана з використанням NDVI на основі знімків високого розрізнення Sentinel-2 та Landsat-8 за 2013–2017 роки.

На рисунку 3.6 порівняно карту продуктивності з низьким просторовим розрізненням на основі даних MODIS з нашою картою з високим просторовим розрізненням для території України за 2017 рік. За допомогою побудованої карти продуктивності з високим просторовим розрізненням та карти класифікації культур розраховано індикатори 15.3.1 та 2.4.1 для території України на 2016 та 2017 роки. Сукупні значення індикаторів 15.3.1 та 2.4.1 за 2016 та 2017 роки наведені в таблиці 3.2.

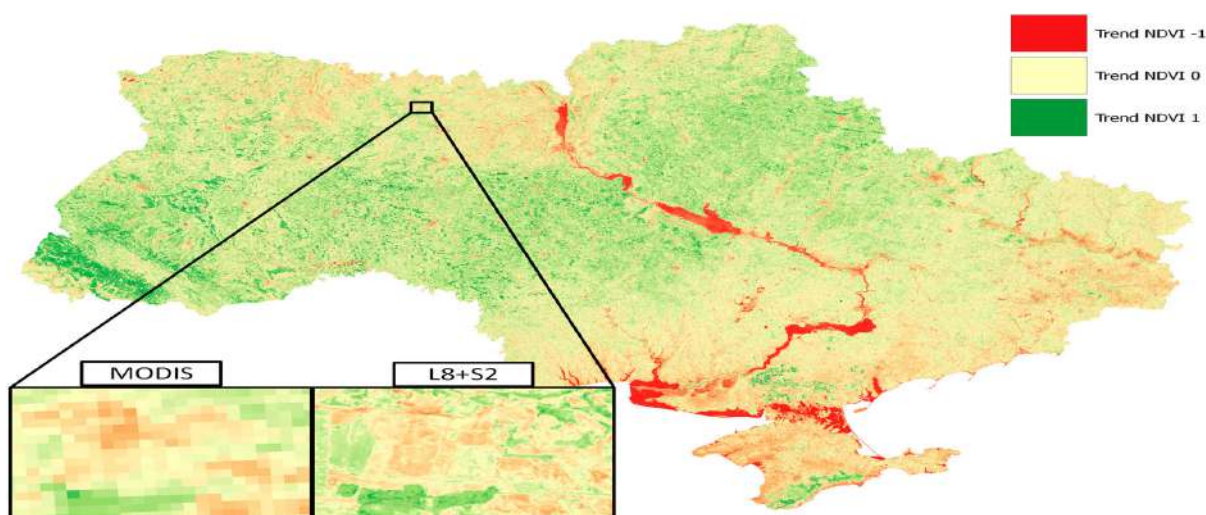


Рис 3.6. Порівняння карти продуктивності з низьким просторовим розрізненням на основі даних MODIS та карти продуктивності з високим просторовим розрізненням для території України на 2017 рік

Таблиця 3.2. Індикатори 15.3.1 та 2.4.1 для території України за 2016 та 2017 роки

Роки	2016	2017
Індикатор 15.3.1	46.19%	48.24%
Індикатор 2.4.1	37.6%	42.8%

Спостерігається позитивна динаміка зростання продуктивності для всіх земель з 46,19% до 48,24% і для сільськогосподарських угідь з 37,6% до 42,8%, але площа з негативною тенденцією вегетаційного індексу становить більше 29 046 тис. га. Зростання можна пояснити впровадженням практики ефективного сільського господарства, створення систем збору врожаю [25, 26], але, зазвичай, ці дії проводяться на великих сільськогосподарських землях або на полях, що належать до великих сільськогосподарських підприємств, тож значна частина земель із негативною тенденцією все ще існує. Зокрема негативне значення продуктивності праці ми визначаємо: на Східній Україні та Криму, через погіршення ситуації з доступом до води; на Західній Україні, через вирубку лісів. Якщо розглядати загальний приріст, то, окрім покращення умов ведення сільського господарства, в Україні відбувається відновлення вирубаних лісів, які забезпечують поліпшення щороку зі значним трендом вегетації. За даними Державного агентства лісових ресурсів України, у 2016 р. відновлено 52,6 тис. га лісу, а в 2017 р. – 53,2 тис. га.

Одержані дані дозволяють зробити висновок, що нещодавно доступні дистанційні продукти високого просторового розрізнення значно покращують здатність оцінювати кілька індикаторів СР за допомогою спеціальних процесів обчислень. Оцінка індикаторів СР для цілі 15 «Життя на землі» («Life on land») та цілі 2 «Подолання голоду» («Zero hunger») дуже залежать від даних про земельний покрив. Сучасні карти земного покриву з високим просторовим та часовим розрізненням (на щонайменше на щорічній основі) мають вирішальне значення для виконання відповідного процесу обчислення. Для подальшого масштабування запропонованого підходу до регіонального / глобального рівнів необхідні дані про навчання, які можна збирати публічно з доступних наборів даних, таких як Open Street Maps з інформацією про земний покрив. Крім того, відкриті платформи з можливістю завантаження зображень вуличного рівня та глобальних продуктів земного покриву можуть використовуватися для генерації наборів навчальних даних у глобальному масштабі. Інший підхід полягає у розробці попередньо навчених класифікаційних моделей, що використовують широкий спектр агрокліматичних умов для картографування земельного покриву у глобальному масштабі.

3.3. Оцінювання індикатора «11.3.1. Відношення показника землекористування до показника приросту населення»

Індикатор 11.3.1 розглянуто окремо, оскільки він відноситься до індикаторів другого рівня, тобто має методологію розрахунку, але джерела даних для його оцінки ще не узгоджені. У роботі фахівців ІКД НАНУ-ДКАУ пропонується підхід для оцінювання цього індикатора, який базується на декількох спрощеннях. Вони дають можливість розрахувати показник землекористування [27, 28], використовуючи карти забудованих територій та продемонструвати, як ця методологія працює у містах світу. У результаті, регулярне створення високоякісних місцевих або глобальних карт земельного покриття може вирішити завдання точної оцінки показника 11.3.1.

Пропонується два способи розрахунку індикатора 11.3.1 [29]. Перший призначений для рівня країни і моніторингу та порівняння даних для різних країн. В цьому випадку оцінка індикатора провадиться з використанням відомого якісного продукту – GHSL. Другий підхід застосовано для рівня міст, який використовує місцеві дані, які є більш прийнятними для рівня громад.

Платформа Google Earth Engine (GEE) надає великі можливості для вирішення окреслених завдань, а саме використовувати великі супутникові набори даних з реалізованими підходами класифікації [30, 31], а також передбачає включення локальних даних. В рамках проекту SMURBS «Горизонт-2020» Інститут космічних досліджень розробив підхід [32], що використовує платформу GEE для побудови карт класифікації земельного покриття з просторовим розрізненням 10 м. Цей підхід може застосовуватися для оцінки зростання будь-якого міста на планеті [33].

Супутникові дані. Часові ряди SAR Sentinel-1, отримані з 01.04.2016 по 25.10.2016 [34, 35], та безхмарні зображення оптичного супутника Sentinel-2 [36] використовувались для побудови карт забудованих площ для Києва у 2016 р., а безхмарні оптичні зображення оптичного супутника Landsat-5,7 використовувались для побудови карт забудованих площ для Києва у 2000 р. Зокрема, для Києва в 2016 р. було доступно 8 зображень супутників Sentinel-2, 3 та 5 і супутників Landsat-5,7 відповідно, які представлені в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3. Супутникові знімки м. Києва у 2000 та 2016 роках

	Sentinel-2 (2016)	Landsat-5 (2000)	Landsat-7 (2000)
Дати зйомки	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 Sentinel-1 використовуються наступні етапи попередньої обробки: застосувати файл орбіти, видалення прикордонного шуму, видалення теплового шуму, радіометричне калібрування, орторектифікація та фільтрація за допомогою вікна 3x3.

Оптичні дані Sentinel-2 L1C використовувались для створення композитів. Для реалізації алгоритму Random Forest (RF) була використана безкоштовна хмарна платформа Google Earth Engine. Усі супутникові дані доступні на цій платформі.

Навчальні та тестові дані були сформовані за допомогою фотоінтерпретації [37], використовуючи оптичні дані Sentinel-2 за 2016 рік та Landast-5,7 за 2000 рік. Штучні об'єкти є основним типом земельного покриття, який необхідно ідентифікувати [38], тому тестові та навчальні дані містять два класи, які представлені в таблиці 3.4.

Таблиця 3.4. Розподіл навчальних та тестових даних

	2000		2016	
	Навчальні	Тестові	Навчальні	Тестові
Штучний об'єкт	30	29	57	57
природний об'єкт	95	96	160	161
Всього	125	125	217	218

В якості додаткових наборів даних для зіставлення продуктів, отриманих на основі супутникових даних, використовувались дані шару Global Human Settlement (GHSL) та для валідації – дані шару Global Forest Change.

Методологія

Валідація та зіставлення глобального шару розселення людей з локальною картою земельного покриття. Для перевірки забудованої площі використовували два підходи [39, 40]. Перший потребує обчислення матриці змішування для кожного із вказаних років за допомогою незалежних тестових зразків, і таким чином оцінити загальну точність штучних об'єктів. Другий підхід передбачає використання додаткового незалежного шару зелених насаджень для оцінки штучних об'єктів, що перетинаються з ним, та вимірювання цього типу помилок. Таким незалежним шаром є рівень Global Forest Change (створений в Університеті штату Меріленд). В результаті буде розраховано перетин штучних та зелених зон та оцінено їх відсоток щодо загальної площі лісу.

Оцінка показника 11.3.1 На рисунку 3.7 показана методологія розрахунку показника 11.3.1 з двома субіндикаторами. Перший субіндикатор – це темп приросту населення, і для його оцінки необхідна надійна статистика з високим рівнем оновлення. З цієї причини найкращим джерелом даних є статистика, надана урядовими міськими адміністраціями. Для оцінки показників на рівні країн можна використовувати статистику ООН [41] і такі глобальні продукти як шар населення GHSL.

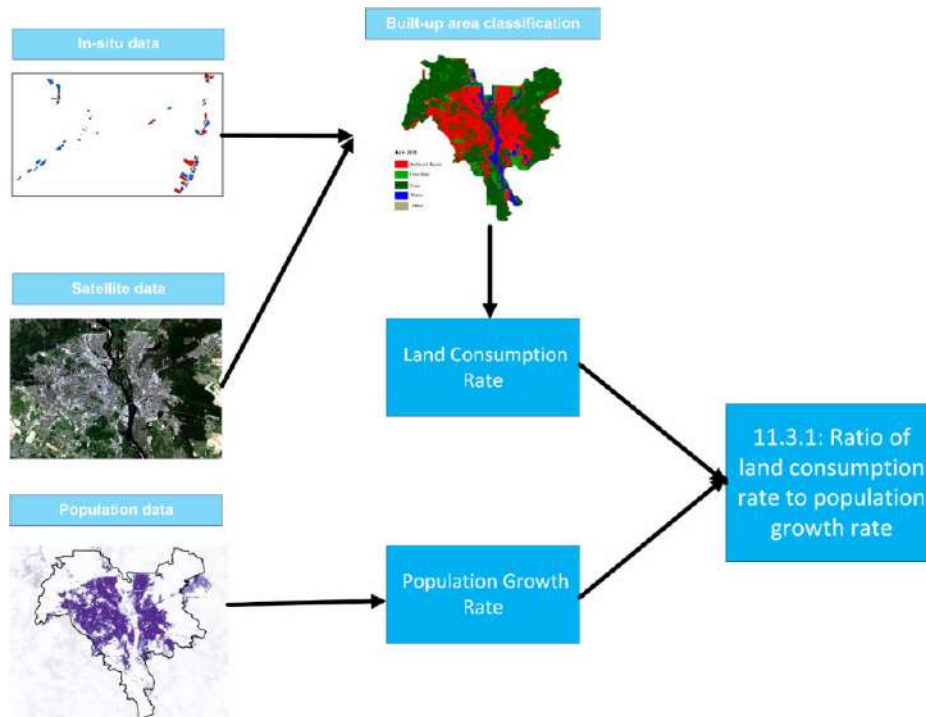


Рис. 3.7. Методологія оцінки показника 11.3.1 з використанням супутникових даних та статистичних даних щодо населення

Темп приросту населення (PGR) є логарифмом відношення чисельності населення за два роки

$$PGR = \ln(Popt_{(t+n)} / Popt_t) / (y),$$

де $Popt_t$ – населення за рік t , $Pop_{(t+n)}$ – населення за рік $(t+n)$, (y) – це число років між вимірами. Оцінка параметру рівня землекористування (LCR) [35] є більш складною, тому потрібна карта забудованих територій. Її можна отримати із карт класифікації земельного покриву або карт штучних поверхонь. Найкращий спосіб оцінити LCR для масштабу міста – це побудова карти земельного покриву з використанням місцевих навчальних даних та супутникових даних, як Sentinel-2 та Sentinel-1, злиті в одноразові серії. На рівні країни або регіону можна використовувати глобальні продукти, такі як рівень забудови GHSL. Розрахунок LCR аналогічний PGR. LCR дорівнює логарифму відношення забудованої площі за два роки

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

де Urb_t – забудовані площі за рік t , $Urb_{(t+n)}$ – забудовані площі за рік $(t+n)$, (y) - це число років між вимірами.

Показник ЦСР 11.3.1 або «відношення показника землекористування до показника приросту населення» (LCRPGR) можна обчислити за формулою:

$$LCRPGR = LCR / PGR.$$

Результати

Валідація та порівняння місцевої карти земельного покриття та GHSL

Місто постійно розширюється відносно своїх офіційних меж. Ось чому карта була побудована з буфером навколо міста (на рисунку 3.8 вона позначена зеленим кольором). На рис. 3.8 а представлена карта штучного об'єкта (карти ІКД) на основі RF-алгоритму, створеного на основі локальних даних в GEE. Матриця змішування на основі незалежних тестових зразків була розрахована для перевірки сформованої карти. Загальна точність становить 85,2%. Продукт GHSL на основі даних SAR Sentinel-1 із просторовим розрізненням 20 метрів був використаний для іншого способу перевірки класифікаційної карти. Цей продукт містить штучні об'єкти для всього світу на 2016 рік. На рисунку 3.8.б представлена частина продукту GHSL для Києва. Загальна точність на основі незалежних тестових зразків становить 72,6%, що є хорошим результатом для світового продукту з просторовим розрізненням до 20 м. Основною проблемою цього продукту є наявність інших предметів, які потрапляють у маску. Зокрема, це можуть бути лісові смуги, дерева, ліси, парки, сади тощо. Причиною є просторове розрізнення, яке викликає ефект змішаних пікселів. Але, завдяки тому, що всі міста світу мають схожі характеристики, використання цього глобального набору даних є найкращим способом для оцінки глобального показника 11.3.1.

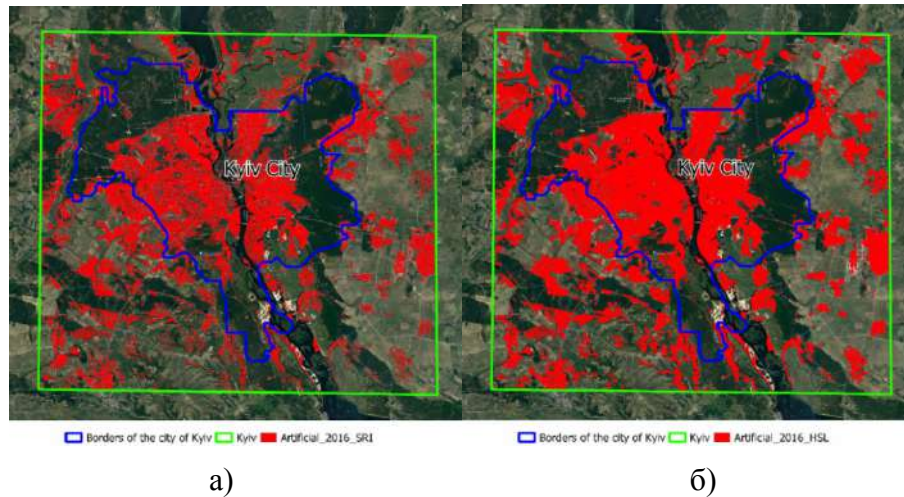


Рис. 3.8. Карта штучних об'єктів для Києва у 2016 році: а) RF-алгоритм, б) продукт GHSL

Для подальшої валідації використовували шар Global Forest Change, створений Університетом штату Меріленд, результат представлений на рис. 3.9.

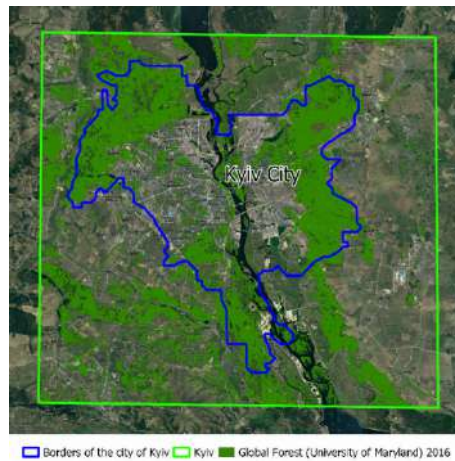


Рис. 3.9. Маска лісу для м. Києва 2016 року (на основі шарів Global Forest Change)

За допомогою отриманого шару було отримано дані щодо перетину зелених насаджень та штучних об'єктів (рис. 3.10 а, б). Синім показаний перетин лісового шару з відповідною ділянкою, одержаною на базі підходу SMURBS, рожевий колір – з GHSL, а помаранчевий – з двома картами разом. Як видно на рисунку, більшість пікселів мають рожевий колір (рис. 3.10 б).

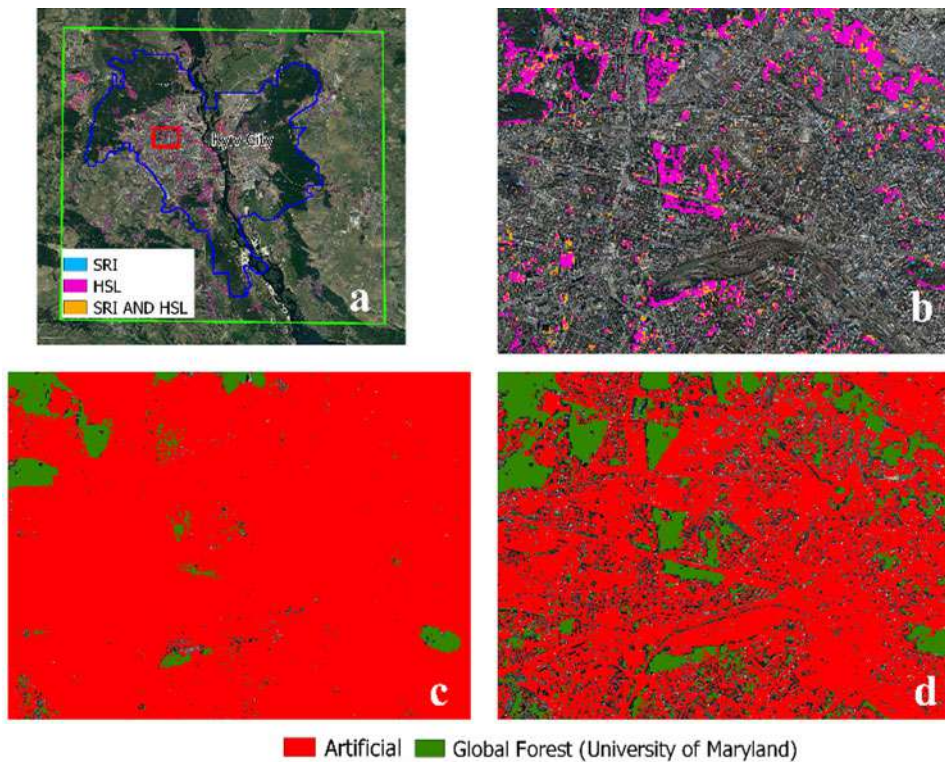


Рис. 3.10. Перетин маски лісу з Forest Mask для м. Києва 2016 (на основі шарів Global Forest Change). Маска для штучних об'єктів: с – GHSL, d – RF)

Отримана область представлена в таблиці 3.5 Кольори в таблиці 3 відповідають кольорам на рис. 3.10 а. Цю область можна інтерпретувати як ділянку покриву зелених насаджень, яка була неправильно класифікована як штучна поверхня для обох карт.

Таблиця 3.5. Результати перетину зелених насаджень із масками штучних об'єктів

Шар перетину	Площа, га	%, відносно лісу
SRI	58.93	0.75
GHSL	582.61	7.41
SRI and GHSL	165.26	2.10

Отримані результати підтверджують точність побудованих карт штучних об'єктів Києва. Найкраща продуктивність на основі карти RF-алгоритму забезпечується просторовою розрізненістю 10 метрів та використанням локальних даних. Надалі планується створити карти того ж типу на інші обрані роки (включаючи 2020 рік) та подальше використання в рамках програми ГОРИЗОНТ 2020, зокрема проекту SMURBS / ERA-PLANET [42, 43].

Значення індикатору 11.3.1, одержані шляхом зіставлення локальних та глобальних даних

Карта забудованої площі для Києва 2000 р. була побудована з використанням навчальних даних на місці [44], супутникових даних Landsat-5 та Landsat-7 з точністю 83,4%. Ця карта використовується для розрахунку забудованої площі для LCR у початковому році. Описана в розділі 3.1 карта земельного покриву була використана для оцінки забудованої території на 2016 рік. Карти аналогічного року були обрані з продукту GHSL і за обома джерелами даних розраховано показник землекористування. Місцева статистика, надана муніципальною статистичною службою, використовувалася для оцінки темпів приросту населення. У таблиці 3.6 наведено результати цього експерименту. Як показано, різниця, визначена у розділі 3.1 сильно впливає на рівень споживання землі (показник землекористування), і у випадках для оцінки показників на рівні міста краще використовувати місцеві дані.

Таблиця 3.6. Показник землекористування та показники ЦСР 11.3.1 на основі місцевих карт СГІ та GHSL

<i>Показник землекористування за картою SRI</i>	0.074
<i>Показник землекористування за GHSL</i>	0.044
<i>SDG 11.3.1 за картою SRI</i>	4.758
<i>SDG 11.3.1 за GHSL</i>	2.845

Одержані результати свідчать, що продукт GHSL має високу точність оцінки індикатору на рівні країни або регіону. Завдяки цьому показник інформативний та корисний у великих масштабах (та масштабі міста). Для цього краще використовувати місцеві дані та супутникові дані з вищим просторовим розрізненням з метою підвищення точності розрахунку показника. Підхід класифікації земного покриття в GEE, розроблений у проекті SMURBS, забезпечує хороші результати з просторовим розрізненням 10 м і може бути використаний у різних містах для побудови подібних карт забудованої території з використанням місцевих даних.

Розділ 4. Поточні та започатковані міжнародні проєкти в інтересах впровадження в Україні супутникових технологій за методологією GEOSS

Українські фахівці протягом останніх років здійснили практичні кроки на шляху широкомасштабного запровадження в Україні ідеології системи систем GEOSS та європейської програми COPEERNICUS. З 2016 року почалося створення європейського дослідницького простору (ERA) в області космічного моніторингу, а з 2018 року започатковано структуру EuroGEOS, в яку входять і представники України. Низка одержаних українськими фахівцями результатів в міжнародній кооперації свідчить про перспективність активної співпраці в рамках міжнародного мегапроєкту GEOSS. Так співробітники Інституту космічних досліджень НАНУ та ДКАУ одержали систематичні дані щодо впливу агротехнологій на довкілля в рамках проєкту FP-7 «SIGMA» (2013-2017 роки), побудовано карти земного покриву та маски посівних площ на території України в рамках проєкту Sen2-Agri з Європейським космічним агентством; в проєкті Світового банку (2018-2020) продемонстровано використання даних Copernicus для моніторингу деградації земель та наслідків посух. Великий проєкт за участю України ERA-PLANET (The European Network for Observing our Changing Planet) в рамках програми HORIZON-2020, передбачає створення спільного Європейського дослідницького простору в сфері спостереження Землі, а його продовження планується в рамках нової структури EuroGEOS. Нижче наведений короткий огляд поточних проєктів, а також тих, що розпочинаються найближчим часом для окреслення найближчої перспективи впровадження методології оцінювання індикаторів сталого розвитку на основі ідеології GEOSS.

4.1. Проєкт ERA-PLANET програми Горизонт-2020 та цільова комплексна програма НАН України «Аерокосмічні спостереження довкілля в інтересах сталого розвитку та безпеки як національний сегмент проєкту Горизонт-2020 ERA-PLANET» (ERA-PLANET/UA)

З 2016 року Україна є членом Європейського дослідницького простору і учасником програми HORIZON 2020 ERA-PLANET, яка є європейським внеском до плану групи GEO. в реалізації 3 із 4 проєктів ERA-PLANET, а саме GEOEssential, IGOSP та SMURBS. беруть участь українські дослідники: ІКД НАН України та ДКА України (координатор), Інститут кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України, Інституту біохімії ім. О.В. Палладіна НАН України, Національний ботанічний сад ім. М.М. Гришка НАН України, Головна астрономічна обсерваторія НАН України, Інститут ботаніки ім. М.Г. Холодного НАН України, а також співробітники Українського гідрометеорологічного інституту ДСНС України та НАН України, ННК «Інститут прикладного системного аналізу» НТУ України «КПІ імені Ігоря

Сікорського», Інституту громадського здоров'я ім. О.М. Марзєєва НАМН України та інжинірингової школи «Association Noosphere». Комплексні дослідження передбачають як створення інформаційних технологій на основі супутникових даних, так і наземні дослідження для ефективного вирішення проблем моніторингу довкілля.

Серед одержаних за тематичними напрямками програми протягом 2017–2020 років результатів відзначаються наступні.

За напрямом SMURBS (SMart URBan Solutions for air quality, disasters and city growth):

Розроблено міський атлас Києва, що став першим містом за межами ЄС, для якого створено такий продукт. Розроблена технологія сумісна з сервісом Urban Atlas програми Copernicus і базується на використанні безкоштовних супутникових даних та класифікації земного покриття із використанням методів машинного навчання власної розробки та геостатистичного аналізу щільності забудови за векторною картою міста. Особливостями запропонованого рішення є використання лише відкритих джерел даних і щорічне оновлення інформації про земний покрив та землекористування в місті. В подальшому розроблена технологія може бути застосована і для інших міст. Запропоновано метод визначення населених пунктів у зоні ризику торфових пожеж, що базується на оцінюванні температури земної поверхні за даними супутників Landsat-7, Landsat-8, пороговій сегментації температурного растру та виділенні гарячих ділянок на торфовищах низинних і торфово-болотних ґрунтах та формуванні зони ризику на основі аналізу відстаней від гарячої ділянки до населених пунктів. Здійснено апробацію методу для території Київської області (*ІКД НАНУ та ДКАУ*).

Створено базу метеорологічних і фенологічних даних для розрахунку параметрів продуктивності посівів за період 2003–2017 рр. Фенологічні дані представлені у вигляді оптимальних дат сівби відповідних посівів сільськогосподарських культур (озимої пшениці, кукурудзи соняшника, сої та ячменю) у вузлах регулярної сітки. Оптимальні дати сівби розраховані по метеорологічним даним (температура та опади). Проведено калібрування біофізичної моделі WOFOST шляхом розрахунку біологічних коефіцієнтів відповідних сільськогосподарських культур за результатами польових експериментів на агрометеорологічних станціях України. Проведено геоінформаційне моделювання параметрів продуктивності посівів озимої пшениці, кукурудзи соняшника, сої та ячменю в Україні за допомогою моделі WOFOST у вузлах регулярної сітки 50×50 км. Параметри продуктивності представлені у вигляді місячних значень загальної біомаси рослин, біомаси продуктивних органів, індексу листової поверхні та вологості ґрунту у метровому шарі.

Розроблено хмарне сховище геопросторової інформації інфраструктури SMURBS для інтеграції у GEOSS API, створений програмний каркас на мові Python для автоматичного заповнення сховища, проведено навчання та опрацьовано зберігання даних. Розроблено програмне рішення для візуалізації даних, завантажених у хмарне сховище геопросторової інформації на основі веб-ГІС MapStore2. Забезпечено

демонстрацію інтерактивних карт і динамічних звітів з пов'язаною некартографічною інформацією: текстами, зображеннями, діаграмами тощо. Розроблено перші прототипи інформаційно-аналітичної системи на основі платформ відкритих даних ДКАН та СКАН (*Інститут кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України*).

Розроблювалась єдина інформаційно-ресурсна концепція оцінювання впливу глобальних кліматичних змін на резервуари і потоки парникових газів. Зокрема оцінювалась інтенсивність дихання рослин і мікроорганізмів, аналізувалась чисельність меланінвмісних мікроміцетів у наземних екосистемах модельних ботаніко-географічних експозицій Національного ботанічного саду та Біосферного заповідника Асканія Нова. Запропоновано методологію оцінювання динамічних резервуарів Карбону та Нітрогену у фітоценозах, за результатами якої розроблено екологічно безпечний інгібітор нітрифікації, який характеризується пролонгованою дією і більш ефективний порівняно із закордонними аналогами (*Національний ботанічний сад ім. М.М. Гришка НАН України*)

За напрямом GEOEssential:

В контексті приєднання України до всесвітньої стратегії ООН із сталого розвитку (СР) проведено аналіз національних цілей, завдань та цільових показників в галузі природокористування та охорони довкілля, сформовано набір національних індикаторів, розрахунок яких може підтримуватися даними космічних спостережень, виявлено джерела даних для визначення істотних змінних.

Розроблена інформаційна технологія оцінки продуктивності землі для території України за супутниковими даними. Створена карта продуктивності землі та власні карти земного покриву для всієї території України із високим просторовим розрізненням. Розроблено технологію визначення індикаторів цілей сталого розвитку за даними спостереження Землі на основі NEXUS підходу. Основні вдосконалення полягають у використанні супутникових даних високого просторового розрізнення та найсучаснішої методології глибинного навчання для класифікації земного покриву та оцінки продуктивності землі. Зокрема, створено міждисциплінарні робочі процеси для оцінки індикаторів цілей сталого розвитку на основі використання карти класифікації посівів з 10 м просторовим розрізненням та біофізичної моделі WOFOST. Використовуючи створені продукти високого розрізнення на основі NEXUS підходу обчислено показники сталого розвитку 15.1.1 для 2000, 2010 та 2016 років, а показники 15.3.1 та 2.4.1 для 2016 та 2017 років для всієї території України. (*ІКД НАНУ та ДКАУ*).

За напрямом IGOSP:

Проаналізовано сучасний стан моніторингу якості повітря та наземних і супутникових вимірювань PM_{2.5} / PM₁₀. Розроблено та представлено у вигляді інформаційного Web-сервісу результати аналізу можливості вимірів істотної змінної (SV) - вміст часток пилу (PM_{2.5}/PM₁₀) за супутниковими та наземними даними. Сформовано набори даних для точок, в яких проводились заміри у 2003–2015 рр. по

вмісту ртуті (Hg), відібрано перелік супутникових продуктів для за часовими рядами MODIS Aqua. Проаналізовано фактори опосередкованого впливу на поширення Persistent Organic Pollutants (POPs) в системі «океан-атмосфера». Порівняльний аналіз показав прийнятний рівень кореляції даних Copernicus Atmosphere Monitoring Service (CAMS) у приземному шарі з наземними замірами. На порталі представлений, оцінки індикаторів забруднення повітря шляхом злиття супутникової та наземної інформації тощо (*ІКД НАНУ та ДКАУ*).

Проведено комплекс вимірювань концентрації твердих аерозольних частинок (PM2.5/PM10), а також приземного озону за допомогою мобільних лазерних моніторів SDL607 та SDL307 в окремих районах м. Києва та м. Харкова. Проводилось також профілювання забруднення PM2.5/PM10 за допомогою мобільного пункту вулицями і трасами Києва, а також на великих відстанях по трасах на Житомир та Чорнобиль. Оцінено рівень забруднення повітря аерозольними частинками PM2.5/PM10 та O₃ шляхом визначення масової концентрації на стаціонарному пункті моніторингу PM10 та PM2.5 та на мобільній медико-екологічній лабораторії моніторингу приземного озону. Отримані результати натурних інструментальних досліджень показали, що визначені середні масові концентрації озону перевищували або були на межі допустимого діючого нормативу з короткотривалим часом усереднення (*ГАО НАНУ*).

Розроблено методичні основи та здійснено полігонну перевірку впливу забруднення довкілля нафтопродуктами та важкими металами шляхом прецизійних гіперспектральних та газометричних наземних та супутникових досліджень ветландів на території України. Досліджено стан рослинності тестових ділянок ветландів України, що зазнали впливу антропогенного забруднення, шляхом наземного та дистанційного спектрометрування з урахуванням результатів лабораторного моделювання. Зокрема співставлення вегетаційних індексів (VI) для основних видів рослинних угруповань водно-болотних угідь досліджених тест-ділянок виявило відмінності між значеннями VI в залежності від екологічного стану місця зростання впродовж весняно-літньої вегетації (*Інститут ботаніки ім. М.Г. Холодного НАН України*).

Проаналізовано діючу мережу спостережень ЦГО імені Б. Срезневського за забрудненням атмосферного повітря на території м. Києва та визначено найбільш забруднені пости. За даними звітів Мінприроди визначено райони з найбільшими обсягами викидів та відзначено визначний внесок пересувних джерел викидів у загальних обсягах. Проведено повний аналіз типу підстильної поверхні та землекористування міста Києва з уточненням знімків супутника LandSat з метою подальшого використання для визначення місць рекомендованих для проведення спостережень. Проаналізовано метеорологічні та кліматичні умови м. Києва біля земної поверхні і вище та визначено, що переважаючим напрямком вітру є північно-західний. Побудовано карту промислових зон, шляхопроводів, мостів та житлової забудови. Побудовано карту діючих та рекомендованих пунктів спостережень з врахуванням сучасної житлової забудови, околиць міста та нових промислових об'єктів. (*ДУ «Інститут громадського здоров'я ім. О.М. Марзєєва»*)

Розроблено та охарактеризовано з використанням сучасних біохімічних методів (флуоресцентна спектроскопія, лазерна кореляційна спектроскопія, радіоізотопний аналіз) препарат наночастинок аерозолі, отриманого при згорянні органічних речовин, що дозволяє оцінити механізм токсичного впливу аерозолі для розроблення методології його моніторингу та сенсингу у оточуючому середовищі, а також шляхів нейтралізації. Проведено експериментальне дослідження факторів та визначення показників, які істотно детермінують токсичність аерозолі. Проведено дослідження оксидативного стресу за дії частинок препарату. Проведений аналіз впливу розміру, форми та структури мікро- та нанорозмірних частинок на їхню токсичність. Визначений механізм нейротоксичної дії ртуті через збільшення позаклітинного рівня збуджуючого нейромедіатора – глутамату. Показано, що ефекти ртуті змінюються за присутності наночастинок.

Оцінена токсичність препаратів реального диму з використанням біологічних об'єктів, розроблено методологію сенсингу та визначення істотних характеристик, які визначають токсичність твердих частинок. Визначено механізми розвитку нейротоксичності за дії стійких органічних забруднювачів. Вперше розроблено методологію отримання препаратів аерозолі диму та проведено його характеризування. Визначений механізм токсичного впливу частинок суспендованого у воді препарату аерозолі пластикового диму. Показано, що частинки препарату аерозолі пластикового диму здатні призводити до дисбалансу процесів збудження-гальмування у центральній нервовій системі (*Інститут біохімії ім. О.В. Палладіна НАН України*).

4.2 Флагманський проєкт EuroGEOSS E-Shape (Eurogeoss Showcases: Applications Powered by Europe) – фінансується з програми ЄС Horizon 2020 і передбачає впровадження 27 експериментальних програм на основі хмарних технологій, спрямованих на досягнення ЦСР. Проєкт виник в ході створення регіональних кластерів GEO: AmeriGeoss, AfriGeoss та EuroGeoss і має на меті створити систему відкритих та стандартизованих ІТ платформ та сервісів. Глобальною метою є суттєве підвищення ефективності використання супутникової інформації за рахунок розширеного застосування користувачами екологічної інформації, що одержується за допомогою флагманських ініціатив GEO. Участь України в проєкті запланована з 2021 року.

4.3. Проєкт «Сприяння сталому управлінню тваринництвом та збереження екосистем у Північній частині України» під егідою Програми розвитку ООН (ПРООН; United Nations Development Programme)

Проєкт розрахований на виконання у 2021-23 роках, фінансується з Глобального Екологічного Фонду, загальна вартість 7,8 млн \$. Учасниками проєкту є 7 областей України та низка наукових організацій.

В проєкті передбачений зокрема аналіз стану землекористування на основі індикаторів сталого розвитку із застосуванням методів дистанційного зондування території з подальшою підготовкою технічних звітів про стан та динаміку рослинного покриву, сталість екосистем і ландшафтів тощо

Мета проєкту є комплексною і передбачає втручання в екосистеми та агроландшафти задля зниження рівня деградації ґрунтів та втрат біологічного різноманіття, відновлення гідрологічного режиму окремих територій, вдосконалення методів та способів планування в землекористуванні, сприяння розвитку галузі тваринництва, забезпеченню використання пасовищ, сінокосів у скотарстві, і виробництву кормових культур для великої рогатої худоби на прикладі територій Волинської, Рівненської, Житомирської, Вінницької, Київської, Хмельницької та Чернігівської областей. Проєктом передбачено також досягнути зменшення рівня викидів парникових газів на землях із відновленим гідрологічним режимом. Проєкт буде опікуватися збереженням біологічного різноманіття та забезпечення вищого рівня екосистемних послуг, що надаються природоохоронними територіями країни.

В рамках Практичного результату 1.3 буде проведено повну оцінку земель цільового ландшафту чи юрисдикції та створено базу даних про них, які стануть важливими вхідними даних для комплексного планування.

1. Визначення підходу до управління даними;
2. Створення відповідної бази даних;
3. Дистанційне зондування та збір даних на місцях;
4. Завантаження даних у базу даних (та/або збір нових даних за допомогою методології прямого завантаження);
5. Аналіз даних дистанційного зондування для визначення землекористування та земельного покриву;
6. Валідація у польових умовах аналізу даних дистанційного зондування шляхом обмеженої вибірки;
7. Документальний аналіз адміністративних кордонів і землевідведення;
8. Оцифрування карт територій об'єднаних територіальних громад.

В рамках Практичного результату 1.4, на основі аналізу та даних із Практичного результату 1.3, будуть розроблені комплексні плани землекористування, у яких будуть встановлені підходи, оптимальні з екологічної та економічної точок зору, до використання земель із зонами для охорони природи, потреб сільського господарства та відновлення.

4.4. Міжнародний проєкт «Методологія оцінювання цілей сталого розвитку для України, Аргентини та Індії» за участю 17 країн та підтримки фірми Амазон. З 2019 року в рамках GEO-AMAZON Earth observation cloud credits programme розпочато реалізацію та впровадження розроблених методологій для обчислення індикаторів цілей сталого розвитку за допомогою хмарної платформи Amazon для території України, які в подальшому будуть розвинені для Аргентини та Індії.

4.5. В 2019 р. ІКД НАНУ та ДКАУ став офіційним членом міжнародної мережі навчальних центрів Copernicus Academy, яка покликана зв'язати науково-дослідні та академічні установи з органами влади та постачальниками послуг, сприяти спільним дослідженням та розробляти навчальні матеріали.

4.6. Розроблені моделі машинного навчання впроваджуються в проєкті Світового банку «Підтримка прозорого землекористування в Україні» за фінансової підтримки Єврокомісії. Результати виконання проєкту передані органам державної та місцевої влади і використовуються для оцінки реального землекористування в Україні.

4.7. В 2011 році офіційно зареєстровано тестовий полігон міжнародної мережі стандартизованих полігонів сільськогосподарського призначення JESAM-Ukraine, що став одним з основних напрямків дослідження GEO Global Agricultural Monitoring initiative (GEOGLAM).

На сьогодні дані полігону використовуються в проєктах валідації супутникових продуктів Канадського космічного агентства, Космічного агентства Франції CNES, Європейського космічного агентства.

4.8. Проєкт «Deep Green Ukraine» (виконуватиметься консорціумом ІКД НАНУ-ДКАУ і громадських організацій «Центр Моніторингу Влади» (Київ) та «Лісові ініціативи і суспільство – ЛіС – ForestCom» (Львів)). Проєкт є переможцем Національного конкурсу ІТ-проєктів на основі відкритих даних «Open Data Challenge», організується Міністерством цифрової трансформації України у партнерстві з проєктом USAID / UK aid «Прозорість та підзвітність у державному управлінні та послугах / TAPAS», Фондом Східна Європа та «1991 Open Data Incubator». Проєкт «Deep Green Ukraine» спрямований на створення: системи моніторингу наявності незаконного вирубування лісів; незалежної та об'єктивної системи контролю за практикою ведення лісового господарства в Україні на основі супутникових даних.

Розділ 5. Напрями побудови українського сегменту GEOSS

Міжнародна програма створення системи систем спостереження за Землею GEOSS набула численних прихильників в урядових, бізнесових та наукових колах різних країн. Функції багатьох міжнародних організацій і проєктів наразі підпорядковані планам GEOSS. Це обумовлено актуальним підходом щодо поєднання глобальних і національних інтересів, а також позитивними результатами перших етапів Плану впровадження системи систем. Важливу роль відіграє і схвалення спільної діяльності на найвищому рівні (ООН, саміти GEO, включення в пріоритети космічної політики ЄС, космічні програми багатьох держав) та її відповідність пріоритетним трендам забезпечення сталого розвитку. Для України системне залучення до GEOSS-спільноти матиме значущі впливи на вирішення загальнодержавних проблем, серед яких відзначимо наступні:

- підвищення ефективності впровадження інноваційних технологій для розвитку цифрової економіки;
- суттєве розширення можливостей управління життєво важливими ресурсами, природокористуванням, прогнозуванням врожайності, боротьби із забрудненнями довкілля;
- передбачення наслідків кліматичних змін для регіонів України;
- внесок у забезпечення продовольчої, екологічної, енергетичної, пожежної безпеки;
- додаткові можливості моніторингу процесів на неконтрольованих територіях;
- забезпечення вихідними даними створювану систему космічного моніторингу.

Системне запровадження в Україні підходів та технологій GEOSS створить інноваційне підґрунтя для оцінювання темпів досягнення Україною умов сталого розвитку, а входження до спільного європейського дослідницького простору (European Research Area) у цій сфері визначатиме європейський науковий та технологічний рівень цієї діяльності. До останнього часу результати співробітництва українських фахівців (викладені в Розділі 3) досягались ініціативою окремих наукових груп, а зацікавленість у спільній роботі виявляли закордонні консорціуми. Наразі необхідність співпраці з GEO усвідомлена низкою органів державної виконавчої влади внаслідок потреби звітування перед міжнародними організаціями. Разом з тим державні потреби з очевидністю вимагають запровадження системної роботи в рамках GEOSS та ефективного використання міжнародних інструментів для вирішення низки нагальних загальнодержавних проблем.

Набутий за останні роки досвід співпраці та вивчення досвіду інших держав дозволяють запропонувати основні кроки розбудови українського сегменту GEOSS – інформаційної системи підтримки ухвалення рішень UkrGEO. Нижче стисло викладені концептуальні підходи щодо створення такої системи.

Загальна мета: Створення інформаційної системи UkrGEO як національного сегменту міжнародної системи систем GEOSS та національного внеску до європейської програми COPERNICUS та EuroGEOS.

Основні завдання. Розроблення та впровадження інформаційних технологій та сервісів оцінювання індикаторів сталого розвитку у соціально значимих областях (продовольчої, енергетичної, пожежної безпеки, моніторингу сільськогосподарських, лісних, водних енергетичних ресурсів, міських агломерацій, забруднень довкілля), створення інформаційних сервісів візуалізації отриманих продуктів та геопорталу UkrGEO

Запропонований підхід. UkrGEO оснований на концепції спільного використання суттєвих змінних (Essential Variable GEO – EV) для оцінки, прогнозування та моніторингу екосистем шляхом використання даних спостереження Землі. Такий підхід сприятиме розвитку суспільства у відповідності до цілей сталого розвитку та забезпечить кращу координацію робіт в межах різних предметних областей.

Очікувані результати. В межах проекту передбачається створити

- інформаційні сервіси моніторингу екосистем, біорізноманіття, джерел техногенних та стихійних лих;
- набори даних для моніторингу суттєвих змінних;
- алгоритми спільного використання суттєвих змінних в різних предметних областях;
- інформаційні технології обробки геопросторових даних та акумуляції найкращих методик для покращення інтероперабельності і застосовності суттєвих змінних в межах впровадження в Україні системи GEOSS та COPERNICUS;
- технології та засоби для полегшення збору і формалізації представлення знань, що ґрунтуються на даних національних та європейських ініціатив, зокрема Європейської платформи поширення даних COPERNICUS, Європейської мережі спостереження Землі, загальної інфраструктури GEO (GCI — GEOSS Common Infrastructure).

Організаційні заходи; мають на меті забезпечити координацію роботи органів виконавчої влади, науковців та бізнесу на різних рівнях з метою створення та впровадження інформаційної системи UkrGEO.

- Створення та організація роботи Українського комітету GEO у складі представників зацікавлених міністерств, науковців, користувачів та представників громадських організацій.
- Розроблення та організація виконання Плану впровадження UkrGEO, гармонізованого з загальним Планом впровадження GEOSS та відповідним планом заходів.

- Вироблення механізму підтримки заходів Плану впровадження за рахунок державних програм, грантової підтримки та приватного бізнесу;
- Організація експертизи та конкурсного відбору проєктів для їх реалізації в рамках UkrGEO.
- Запровадження механізму взаємодії розробників інформаційних сервісів та користувачів.
- Організація приватно-публічного партнерства та взаємодії з громадськими організаціями.
- Інформування громадськості про діяльність і результати виконання Плану впровадження UkrGEO.

Науково-методичне забезпечення; передбачає зокрема наступні заходи:

- розвиток нових методів спільного застосування наземних та дистанційних даних, їх валідації та шляхів впровадження у національні засоби статистичної звітності;
- обґрунтування переліку та ієрархії індикаторів, до визначення яких залучатимуться супутникові дані;
- розроблення методології використання супутникових даних до статистичної звітності, яка діє в Україні;
- розвиток нових методів наземного та дистанційного моніторингу, а також методів валідації з метою впровадження технологій кількісного оцінювання актуальних для України індикаторів сталого розвитку.
- розроблення наукової програми використання українських супутників спостереження Землі, дорожньої карти розвитку UkrGEO як українського сегменту системи GEOSS та концепції розвитку ДЗЗ в Україні в контексті міжнародних програм.

Етапи створення інформаційної системи UkrGEO на основі використання супутникових даних.

1 етап (1,5 років): аналіз результатів виконання та впровадження пілотних проєктів (агromоніторинг, міські агломерації, забруднення повітря, моніторинг вирубок лісів, стале землекористування), узагальнення потреб користувачів, перспектив застосування істотних змінних у прогнозуванні стану екосистем, можливості застосування міжнародних норм щодо політики надання даних (Analysis Ready Data, ARD тощо). Розроблення концепції, та технічного завдання на інформаційну систему.

2 етап (2 роки). Узгодження, затвердження та формалізація пріоритетних сервісів, що надаватиме система. Розроблення технічного проєкту сервісно-орієнтованої інформаційної системи на основі інтернет-технологій. Організаційна підготовка до введення системи в дію, навчання персоналу та послідовне введення в дослідну експлуатацію 3-5 модулів системи. Організація взаємодії з європейськими спорідненими системами, базами даних та знань. Аналіз результатів дослідної експлуатації та доопрацювання системи.

3 етап – введення системи у штатну експлуатацію, супровід надання тематичних сервісів, нарощування сервісів, що надаються на основі власних досліджень та досвіду партнерів. Включення результатів супутникового моніторингу у вітчизняну та міжнародну статистичну звітність.

REFERENCES

До розділу 1

1. Преобразование нашего мира: Повестка дня в области устойчивого развития на период до 2030 года. 2015. URL: <https://documents-ddsny.un.org/doc/UNDOC/GEN/N15/291/92/PDF/N1529192.pdf?OpenElement>.
2. Scott G., Rajabifard A. Sustainable development and geospatial information: a strategic framework for integrating a global policy agenda into national geospatial capabilities. *Geo-spatial Information Science*. 2017. Vol. 20 (2). P. 59–76. URL: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/10095020.2017.1325594>.
3. Йоханнесбургская декларация по устойчивому развитию. Принята на Всемирной встрече на высшем уровне по устойчивому развитию, Йоханнесбург, Южная Африка, 26 августа – 4 сентября 2002 года. URL: http://www.un.org/ru/documents/decl_conv/declarations/decl_wssd.shtml.
4. Copernicus Climate Change Service (C3S). European Contribution to the Monitoring of Essential Climate Variables from Space. URL: <https://www.ecmwf.int/sites/default/files/elibrary/2017/17860-european-contribution-monitoring-essential-climate-variables-space.pdf>.
5. Cape Town Global Action Plan for Sustainable Development Data. URL: <http://unstats.un.org/sdgs/hlg/Cape-Town-Global-Action-Plan>.
6. Доклад Межучрежденческой и экспертной группы по показателям достижения целей в области устойчивого развития, 48-я сессия, март 2017 г. URL: <https://unstats.un.org/unsd/statcom/49th-session/documents/2018-2-SDG-IAEG-R.pdf>.
7. Earth Observations in Support of the 2030 Agenda for Sustainable Development. URL: http://www.earthobservations.org/documents/publications/201703_geo_eo_for_2030_agenda.pdf.
8. Федоров О. П., Самойленко Л. І., Колос Л. М., Підгородецька Л. В. Проблеми використання супутникових даних для моніторингу цілей сталого розвитку України. *Космічна наука і технологія*. 2019. Т. 25. № 3. С. 40–56. URL: <http://doi.org/10.15407/knit2019.03.040>.
9. Hoff H. Understanding the Nexus. *Background Paper for the Bonn 2011 Conference: The Water, Energy and Food Security Nexus*. 2011. Stockholm Environment Institute, Stockholm. URL: <https://mediamanager.sei.org/documents/Publications/SEI-Paper-Hoff-UnderstandingTheNexus-2011.pdf>.

10. Allouche J., Middleton C., Gyawali D. 2014. Nexus Nirvana or Nexus Nullity? A dynamic approach to security and sustainability in the water-energy-food nexus. STEPS Working Paper 63. Sussex, UK: Social, Technological and Environmental Pathways to Sustainability (STEPS) Center. URL: <https://steps-centre.org/wp-content/uploads/Water-and-the-Nexus.pdf>.
11. Biggs E.M., et al. Sustainable Development and the Water-Energy-Food Nexus: A Perspective on Livelihoods. *Environmental Science & Policy Journal*. 2015. Vol. 54, P. 389–397. URL: <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2015.08.002>.
12. Eftelioglu E., Jiang Z., Tang X., Shekhar S. (2017). The nexus of food, energy, and water resources: Visions and challenges in spatial computing. In *Advances in Geocomputation - Geocomputation 2015 – The 13th International Conference* (pp. 5-20). Springer Heidelberg. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-319-22786-3_2.
13. Simmons A., Fellous J., Ramaswamy V et al. Observation and integrated Earth-system science: A roadmap for 2016–2025. *Advances in Space Research*. 2016. Vol. 57. N 10. P. 2037–2103. URL: <https://doi.org/10.1016/j.asr.2016.03.008>.
14. Nativi S., Mazzetti P., Santoro M., Ochiai O. Big Data challenges in building the Global Earth Observation System of Systems. *Environmental Modelling and Software*. 2015. Vol. 68. P. 1–26. URL: <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2015.01.017>.
15. The Nexus Approach. UNU-FLORES Nexus Observatory. URL: <https://flores.unu.edu/en/research/nexus>.
16. United Nations (2017) Earth observations for official statistics: satellite imagery and geospatial data task team report.
URL: https://unstats.un.org/bigdata/taskteams/satellite/UNGWG_Satellite_Task_Team_Report_WhiteCover.pdf.
17. International Organization for Standardization. 2011 ISO 19115-1: geographic information: metadata fundamentals (DIS). Geneva, Switzerland: ISO/TC211.
18. International Organization for Standardization. 2006 ISO 19138: geographic information: data quality measures. Geneva, Switzerland: ISO/TC211.
19. International Organization for Standardization. 2011 ISO 19157: geographic information: data quality (DIS). Geneva, Switzerland: ISO/TC211.
20. Yang, X., Blower, J.D., Bastin, L., Lush, V., Zabala, A., Masó, J., Cornford, D., Díaz, P., Lumsden, J. An integrated view of data quality in Earth observation. *Philosophical Transactions of the Royal Society*. 2013. A 371: 20120072.
URL: <http://dx.doi.org/10.1098/rsta.2012.0072>.

21. Tam S.-M., Clarke F. Big Data, Official Statistics and Some Initiatives by the Australian Bureau of Statistics. *International Statistical Review*. 2015. Vol. 83(3). P. 436–448. URL: <https://doi.org/10.1111/insr.12105>.

До розділу 2

1. Цілі сталого розвитку: Україна. Національна доповідь. Міністерство економічного розвитку і торгівлі України. 2017. 176 с.
URL: http://menr.gov.ua/files/docs/Національна%20доповідь%20ЦСР%20України_липень%202017%20ukr.pdf.
2. Федоров О.П., Самойленко Л.І., Колос Л.М., Підгородецька Л.В. Проблеми використання супутникових даних для моніторингу цілей сталого розвитку України. *Космічна наука і технологія*. 2019. Т. 25. № 3. С. 40–56. URL: <http://doi.org/10.15407/knit2019.03.040>.
3. United Nations Economic and Social Council. Report of the Inter-Agency and Expert Group on Sustainable Development Goal Indicators, 49 session, 6–9 March 2018. URL: <https://unstats.un.org/unsd/statcom/49th-session/documents/2018-2-SDG-IAEG-E.pdf>.
4. Earth Observations in Support of the 2030 Agenda for Sustainable Development. URL: http://www.earthobservations.org/documents/publications/201703_geo_eo_for_2030_agenda.pdf.
5. Reyers B., Stafford-Smith M., Erb K.-H., Scholes R.J., Selomane O. Essential variables help to focus sustainable development goals monitoring. *Curr. Opin. Environ. Sustain.* 2017. Vol. 26, P. 97–105. URL: <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2017.05.003>.
6. Lehmann et al. GEOEssential – mainstreaming workflows from data sources to environment policy indicators with essential variables. *International Journal of Digital Earth*. 2019. URL: <https://doi.org/10.1080/17538947.2019.1585977>.
7. ConnectingGEO. 2016a. D2.1: Navigating Sustainability in a changing planet. URL: https://ddd.uab.cat/pub/worpaper/2016/146881/D2_1_SDG_workshop_report.pdf.
8. Masò, J., I. Serral, C. Domingo-Marimon, and A. Zabala Torres. 2019. Earth Observations for Sustainable Development Goals Monitoring Based on Essential Variables and Driver-Pressure-State-Impact-Response Indicators. *International Journal of Digital Earth*. 2019. URL: <https://doi.org/10.1080/17538947.2019.1576787>.
9. UN. SDG Indicators. Metadata repository. URL: <https://unstats.un.org/sdgs/metadata>.
10. Kuffer, M.; Wang, J.; Nagenborg, M.; Pfeffer, K.; Kohli, D.; Sliuzas, R.; Persello, C. The Scope of Earth-Observation to Improve the Consistency of the SDG Slum

Indicator. ISPRS Int. J. Geo-Inf. 2018, 7, 428. URL: <https://www.mdpi.com/2220-9964/7/11/428>.

До розділу 3

1. Cowie, A. L., B. J. Orr, V. M. C. Sanchez, P. Chasek, N. D. Crossman, A. Erlewein, G. Louwagie, et al. 2018. "Land in Balance: The Scientific Conceptual Framework for Land Degradation Neutrality." *Environmental Science & Policy* 79: 25–35.
2. Kussul, N., M. Lavreniuk, S. Skakun, and A. Shelestov. 2017b. "Deep Learning Classification of Land Cover and Crop Types Using Remote Sensing Data." *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters* 14 (5): 778–782.
3. Kingma, D. P., and J. Ba. 2014. "Adam: A Method for Stochastic Optimization." arXiv preprint arXiv:1412.6980.
4. Skakun, S., N. Kussul, A. Shelestov, and O. Kussul. 2015. "The Use of Satellite Data for Agriculture Drought Risk Quantification in Ukraine." *Geomatics, Natural Hazards and Risk* 7 (3): 901–917.
5. Kussul, N., G. Lemoine, F. J. Gallego, S. Skakun, M. Lavreniuk, and A. Shelestov. 2016. "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* 9 (6): 2500–2508.
6. Kussul, N., M. Lavreniuk, A. Shelestov, and S. Skakun. 2018. "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* 51 (1): 627–636.
7. Ghazaryan, G., O. Dubovyk, F. Löw, M. Lavreniuk, A. Kolotii, J. Schellberg, and N. Kussul. 2018. "A Rule-based Approach for Crop Identification Using Multi-temporal and Multi-sensor Phenological Metrics." *European Journal of Remote Sensing* 51 (1): 511–524.
8. Shelestov, A., M. Lavreniuk, N. Kussul, A. Novikov, and S. Skakun. 2017b. "Exploring Google Earth Engine Platform for Big Data Processing: Classification of Multi-temporal Satellite Imagery for Crop Mapping." *Frontiers in Earth Science* 5: 17.
9. Skakun, S., N. Kussul, A. Shelestov, M. Lavreniuk, and O. Kussul. 2016. "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* 9 (8): 3712–3719.
10. Waldner, F., D. De Abelleira, S. R. Verón, M. Zhang, B. Wu, D. Plotnikov, S. Bartalev, et al. 2016. "Towards a Set of Agrosystem-specific Cropland Mapping Methods to

Address the Global Cropland Diversity.” *International Journal of Remote Sensing* 37 (14): 3196–3231.

11. Kussul, N., A. Kolotii, A. Shelestov, B. Yailymov, and M. Lavreniuk. 2017a. “Land Degradation Estimation from Global and National Satellite based Datasets within UN Program.” In *9th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS)* (Vol. 1, pp. 383–386).
12. Gitelson, A. A., 2011. “Remote Sensing Estimation of Crop Biophysical Characteristics at Various Scales.” In *Hyperspectral Remote Sensing of Vegetation*, edited by Prasad S. Thenkabail, John G. Lyon, Alfredo Huete, 329– 358. Boca Raton, FL: CRC Press.
13. Monteith, J. L. 1972. “Solar Radiation and Productivity in Tropical Ecosystems.” *The Journal of Applied Ecology* 9 (3): 747–766. doi:10.2307/2401901.
14. Bandaru, V., T. O. West, D. M. Ricciuto, and R. C. Izaurrealde. 2013. “Estimating Crop Net Primary Production Using National Inventory Data and MODIS-derived Parameters.” *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 80: 61–71. doi:10.1016/j.isprsjprs.2013.03.005.
15. Prince, S. D., and S. N. Goward. 1995. “Global Primary Production: A Remote Sensing Approach.” *Journal of Biogeography* 22 (4–5): 815–835. doi:10.2307/2845983.
16. He, M., J. S. Kimball, M. P. Maneta, B. D. Maxwell, A. Moreno, S. Beguería, and X. Wu. 2018. “Regional Crop Gross Primary Productivity and Yield Estimation Using Fused Landsat-MODIS Data.” *Remote Sensing* 10 (3), art. num. 372.
17. Prince, S. D., J. Haskett, M. Steininger, H. Strand, and R. Wright. 2001. “Net Primary Production of US Midwest Croplands from Agricultural Harvest Yield Data.” *Ecological Applications* 11 (4): 1194–1205.
18. Xin, Q., M. Broich, A. E. Suyker, L. Yu, and P. Gong. 2015. “Multi-scale Evaluation of Light use Efficiency in MODIS Gross Primary Productivity for Croplands in the Midwestern United States.” *Agricultural and Forest Meteorology* 201: 111–119.
19. Li, J., and D. P. Roy. 2017. “A Global Analysis of Sentinel-2A, Sentinel-2B and Landsat-8 Data Revisit Intervals and Implications for Terrestrial Monitoring.” *Remote Sensing* 9 (9), art. num. 902.
20. López-Lozano, R., G. Duveiller, L. Seguini, M. Meroni, S. García-Condado, J. Hooker, and B. Baruth. 2015. “Towards Regional Grain Yield Forecasting with 1 km-resolution EO Biophysical Products: Strengths and Limitations at Pan- European Level.” *Agricultural and Forest Meteorology* 206: 12–32.

21. Shelestov, A., A. Kolotii, S. Skakun, B. Baruth, R. Lopez Lozano, and B. Yailymov. 2017a. "Biophysical Parameters Mapping Within the SPOT-5 Take 5 Initiative." *European Journal of Remote Sensing* 50 (1): 300–309.
22. Skakun, S., E. Vermote, J.-C. Roger, and B. Franch. 2017. "Combined Use of Landsat-8 and Sentinel-2A Images for Winter Crop Mapping and Winter Wheat Yield Assessment at Regional Scale." *AIMS Geosciences* 3 (2): 163–186.
23. Claverie, M., J. Ju, J. G. Masek, J. L. Dungan, E. F. Vermote, J.-C. Roger, S. Skakun, and C. O. Justice. 2018. "The Harmonized Landsat and Sentinel-2 Surface Reflectance Data Set." *Remote Sensing of Environment* 219: 145–161.
24. Molod, A., L. Takacs, M. Suarez, and J. Bacmeister. 2015. "Development of the GEOS-5 Atmospheric General Circulation Model: Evolution from MERRA to MERRA2." *Geoscientific Model Development* 8 (5): 1339–1356.
25. Fileccia, T., M. Guadagni, V. Hovhera, and M. Bernoux. 2014. "Ukraine: Soil Fertility to Strengthen Climate Resilience." Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy. <http://www.fao.org/3/ai3905e.pdf>.
26. Lesiv, M., D. Schepaschenko, E. Moltchanova, R. Bun, M. Dürauer, A. V. Prishchepov, and N. Kussul. 2018. "Spatial Distribution of Arable and Abandoned Land Across Former Soviet Union Countries." *Scientific Data* 5, art num. 180056.
27. Shelestov A., Sumilo L., Lavreniuk M., Vasiliev V., Bulanaya T., Gomilko I., Kolotii A., Medianovskiy 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.
28. 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.
29. 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, No. 2. P. 309–321.
30. 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.
31. 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.

32. Shelestov A., Kolotii A., Lavreniuk M., Yailymov B., Shumilo L., Korsunskaya Y. Smart City Services for Kiev City Within ERA-PLANET SMURBS Project. *IEEE 39th International Conference on Electronics and Nanotechnology (ELNANO)*. 2019. P. 784–788.
33. 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.
34. 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.
35. 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.
36. 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.
37. 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.
38. 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.
39. 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.
40. 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, No. 2. P. 278–298.
41. 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.

42. Korsunska 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.
43. Shelestov A., Shumilo L., Kolotii A., Korsunska Y. Air Quality Estimation for the Kyiv City Within ERA-PLANET Project . *Earth Observation Phi-Week*, 9-13 September 2019, Rome, Italy.
44. Shelestov A., Kolotii A., Lavreniuk M., Medyanovskyi 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.

**Перелік індикаторів досягнення цілей сталого розвитку (ЦСР) та істотних змінних,
до обчислення яких залучаються супутникові дані**

Індикатор 2.4.1. Індикатор визначається як відношення площ ділянок продуктивного та стійкого с/г виробництва до площ ділянок с/г виробництва взагалі. Сфера дії індикатора поширюється лише на ділянки с/г виробництва, тобто землі, що використовуються строго для вирощування с/г культур та розведення худоби. При цьому не враховуються землі приватних городів та садів, кочового тваринництва, господарств з виробництва аквакультур, лісових господарств, господарств з виробництва їжі з культур дикої природи.

Індикатор	Істотна змінна (EV)	Продукт істотної змінної (EV Product)	Джерела на основі супутникових даних	Продукт супутникових даних	Примітка
2.4.1. Частка площі сільськогосподарських угідь, на яких застосовуються продуктивні та невиснажливі методи ведення сільського господарства	Земний покрив	Карти земного покриву (щорічні, розрізнення - 250 м)	<p>Copernicus Global Land Service https://land.copernicus.eu/global/products/lc Переглядач глобального земного покриву https://lcviewer.vito.be/</p> <p>Шари глобального земного покриву Copernicus: CGLS-LC100 collection 2, доступні через Google Earth Engine https://developers.google.com/earthengine/datasets/catalog/COPERNICUS_Landcover_100m_Proba-V_Global</p>	Карти глобального земного покриву	<p>Глобальне географічне покриття з розрізненням 100 м у плитках 20°x20°. (110x110 км) Sentinel-2 станом на 2015 р. на основі даних сенсора PROBA-V. Доступ - через глобальний переглядач чи хмарну платформу Google Earth Engine. Глобальна карта з 100 м розрізненням отримана на основі часових рядів даних PROBA-V, точність класифікації - 80%. Планується оновлювати глобальні карти змін земного покриву до початку 2020 р., а щорічні оновлення з 2020 р. будуть продовжуватися з використанням часових рядів даних Sentinel</p>

Індикатор	Істотна змінна (EV)	Продукт істотної змінної (EV Product)	Джерела на основі супутникових даних	Продукт супутникових даних	Примітка
			<p>CCI Land cover https://www.esa-landcover-cci.org/?q=node/175</p> <p>CCI Land Cover viewer (CCI переглядач земного покриття) http://maps.elie.ucl.ac.be/CCI/viewer/</p>	Щорічний часовий ряд глобального земного покриття	Земний покрив класифіковано на 22 класи, з розрізненням 300 м з 1992 р. по 2015 р., створений на основі даних 5-ти різних супутникових місій. Часовий ряд містить 24 глобальних карти земного покриття та набір додаткових продуктів
			<p>Climate Data Store https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/satellite-land-cover?tab=overview</p>	Щорічний часовий ряд глобального земного покриття	Карти глобального земного покриття CCI для 2016–2018 рр., узгоджені з рядом карт CCI (1992–2015 рр.) з розрізненням 300 м. Результуючий узгоджений і доповнений набір даних карт глобального земного покриття сформований на основі даних сенсорів AVHRR (1992–1999 рр.), SPOT-VGT (1998–2012 рр.), PROBA-V та Sentinel-3 OLCI (2013–2019 рр.)
			<p>Climate Monitoring from Space. ECV Inventory https://climatemonitoring.info/ecvinventory/ ID існуючого запису: 10481</p>	Карти типів земного покриття середнього просторового розрізнення	Карти земного покриття з просторовим розрізненням 300 м, часовим розрізненням 5 років та глобальним географічним покриттям. Використовувалась дані комбінації інструментів двох місій: SPOT-4/Vegetation (1998.04.01-2012.12.31); Envisat/MERIS (2003.01.01-2012.03.26)

Індикатор	Істотна змінна (EV)	Продукт істотної змінної (EV Product)	Джерела на основі супутникових даних	Продукт супутникових даних	Примітка
			Climate Monitoring from Space. ECV Inventory https://climatemonitoring.info/ecvinventory/ ID запланованого запису: 11520	Карти типів земного покриву середнього просторового розрізнення	Карти земного покриву з просторовим розрізненням 300 м, часовим розрізненням 1 рік та глобальним географічним покриттям. Використовувалась дані комбінації інструментів чотирьох місій: NOAA-10/ AVHRR (1992.01.01-1999.12.31); SPOT-4/Vegetation (1998.04.01-2013.12.31); Envisat/ MERIS (2003.01.01-2012.03.26); PROBA-V/ Vegetation-P (2013.10.16-2015.12.31)
	Урожайність сільсько-господарських культур	Глобальні поточні карти умов урожайності с/г культур; Сезонні спеціальні карти умов урожайності с/г культур	GEOGLAM Crop Monitor https://cropmonitor.org/index.php/approach/products-cm/ https://cropmonitor.org/index.php/eodatatools/cmet/	Глобальні карти умов урожайності с/г культур Сезонні спеціальні карти урожайності с/г культур	Проект GEOGLAM: моніторинг урожайності у 80 країнах с/г культур для бюлетенів Agricultural Market Information System (AMIS), щомісячна глобальна оцінка урожайності чотирьох основних с/г культур (пшениці, кукурудзи, рису та сої) для 49 країн
			https://cropmonitor.org/index.php/eodatatools/eodata/	Набір супутникових даних для оцінки урожайності с/г культур	У картографічному веб-інтерфейсі моніторингу урожайності відображаються продукти супутникових даних: NDVI, атмосферні опади, вологість ґрунту, температура, евапотранспірація, поверхневий стік та ін.

Індикатор 3.9.1. Даний параметр характеризує смертність, що пояснюється спільними наслідками забруднення побутового та навколишнього повітря, і обчислюється як відношення кількості смертей до загальної кількості населення (або вказується, якщо використовується певна група населення, наприклад, діти до 5 років).

У межах визначення основних факторів ризику для здоров'я оцінюється смертність, що виникає внаслідок впливу забруднення навколишнього (зовнішнього) повітря та забруднення повітря у домашніх умовах (у приміщенні) від використання забруднюючого палива для приготування їжі. Забруднення навколишнього повітря є наслідком викидів від промислової діяльності, домогосподарств, автомобілів та вантажних автомобілів, які є складними сумішами забруднювачів повітря, багато з яких шкідливі для здоров'я. З усіх цих забруднюючих речовин найбільший вплив на здоров'я людини мають дрібнодисперсні тверді частинки. Під забруднюючими видами палива розуміють деревне, вугільне, тваринний гній, деревне вугілля та відходи с/г культур, а також гас. Забруднення повітря є найбільшим екологічним ризиком для здоров'я. Більшу частину тягара цього впливу несе населення в країнах з низьким і середнім рівнем доходу.

Істотні змінні індикатора 3.9.1 «Потоки антропогенних викидів парникових газів» та «Вуглекислий газ, метан та інші парникові гази» не містять таких компонентів забруднення атмосфери як «Дрібнодисперсні тверді частинки PM2.5 та PM10», які відіграють ключову роль в оцінюванні індикатора 3.9.1. В методології ООН оцінювання індикатора 3.9.1 істотне місце займає саме оцінка ризику захворювань та смертності від несприятливого впливу концентрацій PM2.5 та PM10. Тому при обчисленні індикатора 3.9.1 доцільним є розгляд такої EV як «Дрібнодисперсні тверді частинки PM2.5 та PM10»

Індикатор	Істотна змінна (EV)	Продукт істотної змінної (EV Product)	Джерела на основі супутникових даних	Продукт супутникових даних	Примітка
3.9.1. Частка смертності від забруднення побутового та навколишнього повітря	Потоки антропогенних викидів парникових газів	Розрахункові потоки за інверсією спостережуваного складу атмосфери – континентальні	Copernicus Atmosphere Data Store https://ads.atmosphere.copernicus.eu/#!/home Допоміжні джерела даних: GCOS: ECV Products and Requirements for Anthropogenic Greenhouse Gas Emissions https://gcos.wmo.int/en/essential-climate-variables/ghg-fluxes/ecv-requirements GCOS: Data Sources for Anthropogenic Greenhouse Gas Emissions https://gcos.wmo.int/en/essential-climate-variables/ghg-fluxes/data-sources	Набір даних CAMS потоків та концентрацій парникових газів, оцінених на основі інверсії транспортних моделей атмосфери	Набір даних Copernicus Atmosphere Monitoring Service (CAMS) містить чисті потоки та концентрації біля поверхні Землі вуглекислого газу (CO ₂), метану (CH ₄) та оксиду азоту (N ₂ O) та може використовуватися на національному рівні шляхом виокремлення з нього геопросторових даних за маскою країни Продукти даних доступні на часових інтервалах: 1979-2018 (CO ₂), 1990- 2018 (CH ₄), 1995-2017 (N ₂ O)

Індикатор	Істотна змінна (EV)	Продукт істотної змінної (EV Product)	Джерела на основі супутникових даних	Продукт супутникових даних	Примітка
	Вуглекислий газ, метан та інші парникові гази	Тропосферний стовп CO ₂	Climate Monitoring from Space. ECV Inventory https://climatemonitoring.info/ecvinventory/ ID існуючих записів: 10229, 10231, 10249, 10269, 10270, 10732, 10733, 10948, 10949, 10950 - 10953 (всього 13)	Об'ємний вміст CO ₂ у стовпі тропосфери	Глобальне географічне покриття. Існуючих записів 13 у період 10.2002–12.2016 р. Заплановано записи на період до 06.2021 р. Записи відрізняються часовими інтервалами, номерами проєктів, супутниковими місяями, організаціями-виконавцями тощо
		Тропосферний стовп CH ₄	Climate Monitoring from Space. ECV Inventory https://climatemonitoring.info/ecvinventory/ ID існуючих записів: 10230, 10232, 10271–10274, 10282, 11504	Об'ємний вміст CH ₄ у стовпі тропосфери	Глобальне географічне покриття. Існуючих записів 8 у період 10.2002-12.2014 р. Заплановані ще записи. Записи відрізняються часовими інтервалами, номерами проєктів, супутниковими місяями, організаціями-виконавцями тощо
	Дрібнодисперсні тверді частинки PM2.5 і PM10 (пропонований)	Див. Індикатор 11.6.2			

Індикатор 6.3.1. Індикатор визначається відсотком потоку стічних вод від домогосподарств, служб та виробничих приміщень, які обробляються відповідно до національних або місцевих стандартів. Побутовий компонент включає стічні нечистоти, які очищуються на місці та поза ним, і контролюється як частка, що визначається індикатором 6.2.1 у ланцюгу стійко керованих санітарних послуг. Очищені стічні води від служб та виробничих приміщень визначаються на основі Міжнародної стандартної промислової класифікації (ISIC).

Індикатор	Істотна змінна (EV)	Продукт істотної змінної (EV Product)	Джерела на основі супутникових даних	Продукт супутникових даних	Примітка
6.3.1. Частка безпечно очищених стічних вод	Річковий стік	Рівень води (періодичність: щоденно; розрізнення: 100 м)	Copernicus Global Land Service https://land.copernicus.eu/global/products/wl	Water Level V1,V2 rivers (рівень води в річках)	Наявний (2002 – present) Copernicus Global Land Service Часові ряди рівня води у м над геоїдом доступні через 4 дні після спостереження. З квітня 2020 включають дані Sentinel-3B
	Озера	Рівень води в озері (періодичність: щоденно; розрізнення: 100 м)	Climate Monitoring from Space. ECV Inventory https://climatemonitoring.info/ecvinventory/ record ID: 10464,10465,10466	Areas of lakes in the Global Terrestrial Network for Lakes (GTN-L)/ Level of lakes in GTN-L (рівень води в озерах)	Планується U. S. Geological Survey Щотижневі/ щомісячні карти рівня води в м базуються на даних радарної альтиметрії та даних in-situ. Озера з переліку GTN-L підлягають постійному моніторингу основних водних характеристик. Актуальний перелік GTN-L (2013 р.) не містить українських озер
			Copernicus Global Land Service https://land.copernicus.eu/global/products/wl	Water Level V2 lakes (рівень води в озерах)	Наявний (1992 – present) Copernicus Global Land Service Часові ряди рівня води у м над геоїдом доступні через 4 дні після спостереження. З квітня 2020 включають дані Sentinel-3B

Індикатор	Істотна змінна (EV)	Продукт істотної змінної (EV Product)	Джерела на основі супутникових даних	Продукт супутникових даних	Примітка
		Протяжність водної поверхні (періодичність: щоденно; розрізнення: 20 м)	Climate Monitoring from Space. ECV Inventory https://climatemonitoring.info/ecvinventory/ record ID: 10464,10465,10466	Areas of lakes in the Global Terrestrial Network for Lakes (GTN-L)/ Areas of GTN-L lakes (площі поверхні озер)	Планується U. S. Geological Survey Щомісячні карти озер з переліку GTN-L розрізненням 250 м на основі даних Landsat, MODIS та ін. Актуальний перелік GTN-L (2013 р.) не містить українських озер
			United States Geological Survey (USGS) https://www.usgs.gov/centers/eros/science/usgs-eros-archive-landsat-landsat-level-3-dynamic-surface-water-extent-dswe?qt-science_center_objects=0#qt-science_center_objects	Dynamic Surface Water Extent (DSWE) Science Product	Наявний (2017- present) U.S. Geological Survey (USGS) Карти поверхневих вод за даними Landsat розрізненням 30 м та маски хмар/тіней від хмар та снігу, дані щодо нахилу поверхні
			Copernicus Global Land Service https://land.copernicus.eu/global/products/wb	Water Bodies Global V1,V2 (шар водних об'єктів суходолу)	Наявний (2014 – present) Copernicus Global Land Service Карти водних об'єктів з розрізненням 300 м та 1 км, періодичністю 1 раз на 10 днів за даними PROBA-V
	Температура поверхневої води озер (періодичність: щотижня; розрізнення: 300 м)	Copernicus Global Land Service https://land.copernicus.eu/global/products/lswt	Lake Surface Water Temperature (LSWT) V1 (температура поверхневої води озер)	Наявний (2002 -2012, 2018– present) Copernicus Global Land Service Продукт температури поверхневої води озер розраховується 1 раз на 10 днів з просторовим розрізненням 1 км. 2002-2012 рр. – за даними AATSR (Envisat), з 2018 р.– за даними SLSTR (Sentinel-3A)	

Індикатор	Істотна змінна (EV)	Продукт істотної змінної (EV Product)	Джерела на основі супутникових даних	Продукт супутникових даних	Примітка
		Кольоровість води озера (Коефіцієнти відбиття поверхні озера) (періодичність: щотижня; розрізнення: 300 м)	Copernicus Global Land Service https://land.copernicus.eu/global/products/lwq	Lake Water Quality V1 (додаткові параметри якості води: каламутність, індекс трофічного статусу, коефіцієнти відбиття поверхні озера)	Наявний (2002– present) Copernicus Global Land Service Продукти якості води для озер площею понад 50 га з просторовим розрізненням 100 м, 300 м, 1 км з періодичністю 1 раз на 10 днів: каламутність, індекс трофічного статусу, коефіцієнти відбиття поверхні озера
	Підземні води	Зміна обсягу підземних вод (періодичність: щомісяця; розрізнення: 100 км)	Climate Monitoring from Space. ECV Inventory https://climatemonitoring.info/ecvinventory/ record ID: 10281,10686	Groundwater Volume Change (зміна обсягу підземних вод)	Наявний (2002-2016) NASA, не планується Щомісячні дані вмісту води (у водоносних горизонтах, басейнах річок тощо) з даних про гравітацію GRACE, вимірюється як "еквівалентна товщина води" в см

Індикатор 6.3.2. Індикатор призначений для збору і надання даних про якість природних вод та підтримки управління водними ресурсами на національному рівні. Об'єктами оцінювання є ріки, озера, водосховища та підземні води. Якість води оцінюється за допомогою основних фізико-хімічних параметрів, які відображають дію природних кліматологічних та геологічних факторів, а також антропогенний вплив. Оцінка «хороша» вказує на якість води, що не завдає шкоди функціям екосистем та безпечна для здоров'я людини, відповідно до основних параметрів якості природних вод. Стан окремих водних об'єктів класифікується на основі відповідності наявних даних моніторингу основних параметрів якості цільовим значенням, визначеними на рівні країни. Згідно методології ООН загальна якість природних вод оцінюється на основі основного набору з п'яти параметрів для поверхневих вод та трьох для підземних вод, які свідчать про основні порушення якості води, які є у багатьох частинах світу. Для поверхневих вод такими параметрами є розчинений кисень, електропровідність, азот, фосфор та рН, а для підземних вод – електропровідність, нітрати та рН.

Індикатор	Істотна змінна (EV)	Продукт істотної змінної (EV Product)	Джерела на основі супутникових даних	Продукт супутникових даних	Примітка
6.3.2. Частка водойм з хорошою якістю води	Річковий стік			Див. Індикатор 6.3.1.	
	Озера				
	Підземні води				

Індикатор 6.4.2. Рівень водного стресу визначається як процентне співвідношення загального забору прісної води за всіма видами економічної діяльності до загальних відновлюваних ресурсів прісної води, враховуючи потреби екологічного стоку. Низький рівень водного стресу вказує на ситуацію, при якій загальний водозабір усіх секторів є несуттєвим відносно загальних ресурсів і, таким чином, чинить незначний потенційний вплив на їх стійкість або потенційну конкуренцію між користувачами. Високий рівень водного стресу вказує на ситуацію, при якій загальний водозабір усіх секторів становить значну частину всіх вироблених прісноводних ресурсів і може вказувати на більш серйозний вплив на їх стійкість і можливі конфліктні ситуації та конкуренцію між користувачами.

Індикатор	Істотна змінна (EV)	Продукт істотної змінної (EV Product)	Джерела на основі супутникових даних	Продукт супутникових даних	Примітка
6.4.2. Рівень водного стресу: забір прісної води як частка наявних ресурсів прісної води	Річковий стік	Див. Індикатор 6.3.1			
	Озера				
	Підземні води				
	Опади	Опади (періодичність: щомісячно (щодобово, кожні 3 год.) розрізнення: 25 км)	Climate Monitoring from Space. ECV Inventory https://climatemonitoring.info/ecvinventory/ record ID: 10121,10301,11527, 11528	Liquid precipitation (рідкі опади)	Наявний (1977 – present) NASA, NCEI, NOAA Щоденні, триденні, щотижневі та щомісячні дані опадів у мм з розрізненням 0.25 ° у глобальному охопленні або від 60 ° ПД до 60° ПН широти
		Climate Monitoring from Space. ECV Inventory https://climatemonitoring.info/ecvinventory/ record ID:11081	Liquid precipitation (рідкі опади)	Планується NCEI, NOAA Щоденні дані опадів охопленням від 60 ° ПД до 60 ° ПН широти, з розрізненням 0,25 °	
		Climate Monitoring from Space. ECV Inventory https://climatemonitoring.info/ecvinventory/ record ID: 10785, 10786, 10787, 10788, 10789	Precipitation (liquid and solid) (опади рідкі і тверді)	Наявний за умови реєстрації (1992 – present) NASA, NOAA, EUMETSAT, CNES, ISRO Дані опадів у кг/м ² охопленням від 66 ° ПД до 66 ° ПН широти з просторовим розрізненням 7 км вздовж траси на 315 км впоперек траси прольоту з періодичністю 1 раз на 10 (35) днів	

Індикатор	Істотна змінна (EV)	Продукт істотної змінної (EV Product)	Джерела на основі супутникових даних	Продукт супутникових даних	Примітка
			NASA GES DISC at NASA Goddard Space Flight Center https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/TRMM_3B42	TRMM 3B42: 3-Hourly Precipitation Estimates (3-годинні оцінки кількості опадів)	Наявний (1998-2015) NASA Goddard Space Flight Center Дані опадів у мм/год охопленням від 50 ° ПД до 50° з просторовим розрізненням 0,25 ° та періодичністю кожні 3 години
			NASA Global Precipitation Measurement Mission https://gpm.nasa.gov/data	Дані про атмосферні опади від місій GPM та TRMM	Наявний (1998-present) NASA Низка продуктів ранніх, пізніх та остаточних оцінок кількості опадів від місій TRMM (1998-2015) та GPM (2014- по теперішній час) з повним покриттям від 60 ° ПД до 60 ° ПН та частковим покриттям до широт 90 °

Індикатор 6.5.1. Для розрахунку індикатора дані збираються за допомогою анкетування, що охоплює основні елементи комплексного управління водними ресурсами на національному рівні та на рівні басейнів, а отримані відповіді консоліднуються за допомогою консультацій між національними профільними міністерствами та установами, що беруть участь в управлінні водними ресурсами. Супутникові дані для розрахунку індикатора напряду не використовуються. Проте, використання супутникової інформації спроможне підсилити категорію "Інструментів управління водними ресурсами", одного з чотирьох розділів анкети оцінювання комплексного управління водними ресурсами на національному рівні та на рівні басейнів, зокрема при впровадженні інформаційно-вимірювальних систем моніторингу водних ресурсів на рівні басейнових управлінь та держави в цілому.

Індикатор	Істотна змінна (EV)	Продукт істотної змінної (EV Product)	Джерела на основі супутникових даних	Продукт супутникових даних	Примітка
6.5.1. Ступінь впровадження комплексного управління водними ресурсами (0-100)	Опади, Річковий стік, Озера, (пропоновані)				Див. Індикатор 6.3.1. та 6.4.2.

Індикатор 6.6.1. Індикатор призначений для збору і надання даних про пов'язані з водою екосистеми такі як озера, річки, водноболотні угіддя, ґрунтові води та штучні водойми (водосховища). Вимірювання кожної з вказаних екосистем може проводитися з використанням одного або декількох з наступних фізичних параметрів змін: площа, кількість (або обсяг) води та якість води. Даний індикатор призначений для відстеження більш довгострокових тенденцій зміни площі екосистем (тобто за ряд років), а не короткострокових коливань. Вимірювання даних за видами екосистем дозволяє приймати цінні рішення на рівні екосистем. Крім того, оцінка та порівняння комплексу змін в декількох видах екосистем дозволяють приймати рішення в інтересах охорони і відновлення ряду екосистем в тому чи іншому районі. Оцінка тенденцій за даними всіх субпоказників, що входять до індикатора, може дати більш повну картину і призвести до рішень в області політики і планування, що сприяє поліпшенню здоров'я екосистем або здатності екосистем підтримувати свою структуру і функцію з плином часу в умовах тиску ззовні.

Індикатор	EV, тип змінної	EV Продукт (частота/розрізнення)	Джерела супутникових даних	Примітка
6.6.1. Динаміка зміни площі пов'язаних з водою екосистем	1. Озера	Рівень води в озерах (періодичність: щоденно, розрізнення: 100 м)	Copernicus Global Land Service (https://land.copernicus.eu/global/products/wl)	Продукти рівня води озер із супутникових висотомірів, таких як Jason-3 і Sentinel-3A, у майже реальному часі і Topex / Poseidon і Envisat для історичних часових рядів рівня води. Часовий ряд: вересень 1992 р. – теперішній час
		Протяжність водної поверхні (періодичність: щоденно, розрізнення: 20 м)	1) Global Surface Water Explorer (GSWE) (https://global-surface-water.appspot.com/ або https://www.sdg661.app/data-products/data-downloads (Tabular CSVs and GeoTiffs Download)) 2) ESA CCI Land Cover (https://www.esa-landcover-cci.org/ , http://maps.elie.ucl.ac.be/CCI/viewer/index.php)	1) Програма GSWE в рамках програми Copernicus забезпечує доступ до агрегованих даних по площах водних ресурсів на основі даних Landsat за період з 1984 р. по 2018 р. (розрізнення: 30 м) 2) Продукти Global water bodies extent на основі даних Envisat/ASAR з просторовим розрізненням 150 м 1 раз на десятиріччя (2005–2015 pp.)
		Температура поверхневої води озера (періодичність: щотижня; розрізнення: 300 м)	Copernicus Global Land Service (https://land.copernicus.eu/global/products/lswt)	1-км продукти C-GLOPS Lake Water (Sentinel3 / SLSTR) забезпечують оптичну і теплову характеристику 1000 внутрішніх водних об'єктів, (зокрема, і України). Продукт: температура поверхні води в озері. Відображається на загальну глобальну сітку номінально 300 м (~0,0026°) або 1000 м (~0,01°) розрізнення. Часовий ряд: листопад 2016 р. – теперішній час. Часовий ряд архівних продуктів старшої місії ENVISAT/AATSR: травень 2002 р. – березень 2012 р.

Індикатор	EV, тип змінної	EV Продукт (частота/розрізнення)	Джерела супутникових даних	Примітка
		Кольоровість озера (відбивна здатність води озера) (періодичність: щотижня; розрізнення: 300 м)	Copernicus Global Land Service (https://land.copernicus.eu/global/products/lwq)	1) Продукти на основі даних Sentinel3/OLCI відображаються на загальну глобальну сітку номінально 300 м (~0,0026°) або 1000 м (~0,01°) розрізнення. Часовий ряд: травень 2016 р. – теперішній час. Часовий ряд архівних продуктів старшої місії ENVISAT/ MERIS: травень 2002 р. – березень 2012 р. 2) 100-метрові продукти на основі даних Sentinel2/MSI, відбивна здатність води озера, каламутність і індекс трофічного стану. Часовий ряд: січень 2019 р. – теперішній час
	2. Річковий стік	Рівень води (періодичність: щоденно; розрізнення: 100 м)	Copernicus Global Land Service (https://land.copernicus.eu/global/products/wl)	Продукти рівня води річок із супутникових висотомірів, таких як Jason-3 і Sentinel-3A, у майже реальному часі і Topex / Poseidon і Envisat для історичних часових рядів рівня води. Часовий ряд: травень 2002 р. – теперішній час
	3. Сніговий покрив	Площа, вкрита снігом (періодичність: щоденно, розрізнення: 1 км)	Copernicus Global Land Service (https://land.copernicus.eu/global/products/sce)	1) Продукти Snow Cover Extent (SCE) отримані для континентальної Європи (в т.ч., і України) на основі даних Terra MODIS з розрізненням 500 м. Часовий ряд: березень 2017 р. – теперішній час 2) Продукти SCE отримані для північної півкулі (в т.ч., і України) з даних VIIRS (Visible Infrared Imaging Radiometer Suite), розроблених Suomi Near Polar-orbiting Partnership (NPP) з розрізненням 1 км. Своєчасність: протягом 1 дня. Часовий ряд: січень 2018 р. – теперішній час
		Водний еквівалент снігу (періодичність: щоденно, розрізнення: 1 км)	Copernicus Global Land Service (https://land.copernicus.eu/global/products/swe)	Продукти SWE отримані для північної півкулі (в т.ч., і України) з розрізненням 5 км на основі об'єднання спостережень якісної температури пасивного мікрохвильового радіометра зі спостереженнями глибини снігу з мережі синоптичних метеостанцій. Мікрохвильова інформація надається з розрізненням 25 км. Часовий ряд: січень 2006 р. – теперішній час

Індикатор	EV, тип змінної	EV Продукт (частота/розрізнення)	Джерела супутникових даних	Примітка
	4. Земний покрив	Карти земного покриву (періодичність: 5-річні, розрізнення: 10–30 м)	Program of the USGS and NASA Landsat (https://www.usgs.gov/land-resources/nli/landsat , сервіс https://earthexplorer.usgs.gov/)	Продукти колекції Landsat Level-1, що забезпечують постійний архів даних (просторове розрізнення 30 м)
			LandViewer (https://eos.com/landviewer)	LandViewer охоплює величезну кількість знімків із супутників Sentinel-1, 2, MODIS / NAIP, Landsat-7, 8 та ін., а також Landsat-4, 5 для історичних знімків
			Sentinel Hub – EO Browser (https://apps.sentinel-hub.com/eo-browser)	з EO Browser можна отримати знімки з середнім і низьким просторовим розрізненням. До них відносяться необмежені колекції від всіх місій Sentinel, Landsat -5, 6, 7 і 8, Envisat, Meris, MODIS, GIBS і Proba-V
			Copernicus Open Access Hub (https://scihub.copernicus.eu)	
		Карти земного покриву високого розрізнення (періодичність: щорічні, розрізнення: 250 м)	ESA CCI Land Cover (https://www.esa-landcover-cci.org/ , http://maps.elie.ucl.ac.be/CCI/viewer/index.php), C3S Climate Data Store (CDS)	Щорічні дані щодо земного покриву за період 1992–2015 рр. (розрізненням 300 м) доповнені продуктами C3S Global Land Cover, доступними для 2016–2018 рр.
			European Space Agency GlobCover Portal (http://due.esrin.esa.int/page_globcover.php)	Карти земного покриву, що охоплюють 2 періоди: грудень 2004 р. - червень 2006 р. та січень – грудень 2009 р. (просторове розрізнення 300 м)
			The Land Processes Distributed Active Archive Center (LP DAAC) https://lpdaac.usgs.gov/products/mcd12q1v006/	Продукт MODIS Land Cover (MCD12Q1) надає набір наукових даних з супутників Terra і Aqua, які відображають глобальний земний покрив з просторовим розрізненням 500 м на щорічному часовому кроці для шести різних легенд земного покриву. Часова шкала: щорічно. Часовий ряд: 2001 р. – 2018 р.
			Copernicus Global Land Service (https://land.copernicus.eu/global/products/lc)	Карта на 2015 р. (просторове розрізнення 100 м), що буде щорічно оновлюватися з 2020 р. шляхом використання часового ряду Sentinel

Індикатор 7.1.1. Дані щодо доступу до електроенергії згідно існуючих рекомендацій ООН при розрахунку індикатора 7.1.1 збираються повністю з обстежень домогосподарств (іноді з переписів населення), використовуючи широкий ряд різних видів опитування, включаючи: демографічні обстеження, обстеження стану здоров'я та обстеження життєвого рівня, багатопоказникові кластерні опитування, інші національні опитування, включаючи дослідження різних державних установ (наприклад, міністерства енергетики та комунальних послуг). Проте через низьку частоту та нерівномірне регіональне поширення таких опитувань для експрес-оцінювання індикатора та досліджень просторового розподілу споживання електроенергії доцільно використовувати глобальні продукти вимірювання нічного видимого та ближнього інфрачервоного світлового випромінювання, отримані за даними місії Suomi NPP, в поєднанні з даними карт земного покриття (класу міських та забудованих територій) та карт густоти населення.

Індикатор	Істотна змінна (EV)	Продукт істотної змінної (EV Product)	Джерела на основі супутникових даних	Продукт супутникових даних	Примітка
7.1.1. Частка населення з доступом до електроенергії	Доступ до електроенергії (пропонований)	Нічне світлове випромінювання	Earth Engine Data Catalog https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/NOAA_VIIRS_DNB_MONTHLY_V1_VCM_SLCFG	VIIRS Stray Light Corrected Nighttime Day/Night Band Composites Version 1, (нічне світлове випромінювання)	Наявний (2014-present) NOAA Щомісячні композити за даними місії Suomi NPP, які містять глобальні вимірювання нічного видимого та ближнього інфрачервоного світлового випромінювання у розрізненні 15 дугових секунд
			LAADS DAAC https://ladsweb.modaps.eosdis.nasa.gov/search/order/1/VNP46A1--5000	VNP46A1 - VIIRS/NPP Daily Gridded Day Night Band 500m Linear Lat Lon Grid Night, (нічне світлове випромінювання)	Наявний (2012-present) LAADS DAAC Щоденний продукт вимірювання нічного випромінювання за даними місії Suomi NPP у 500 м розрізненні
	Земний покрив (пропонований)	Земний покрив (клас міських та забудованих територій)	Integrated Climate Data Center (ICDC) https://icdc.cen.uni-hamburg.de/1/daten/land/modis-landsurfacetyp.html	MODIS Land Cover Type, University of Maryland classification (клас міських та забудованих територій)	Наявний Обмежений доступ (2001-2018) University of Maryland Щорічні карти LC розрізненням 0.05°

Індикатор	Істотна змінна (EV)	Продукт істотної змінної (EV Product)	Джерела на основі супутникових даних	Продукт супутникових даних	Примітка
			https://modis.gsfc.nasa.gov/data/dataproduct/mod12.php	MODIS global land cover data (клас міських та забудованих територій)	Нааявний (2001-2019) LPDAAC USGS Щорічні карти LC 500 м та 1 км розрізнення
			Earth Engine Data Catalog https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/COPERNICUS_Landcover_100m_Proba-V-C3_Global	Copernicus Global Land Cover Layers: CGLS-LC100 collection 2 (клас міських та забудованих територій)	Нааявний (2015-2019) Щорічні карти LC 100-м розрізнення PROBA-V, з 2020 передбачається використання Sentinel
			Climate Monitoring from Space. ECV Inventory https://climatemonitoring.info/ecvinventory/ record ID: 10481, Climate Data Store https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/satellite-land-cover?tab=form	ESA Land Cover Climate Change Initiative (Land_Cover_cci): Global Land Cover Maps (клас міських та забудованих територій)	Нааявний (1992-2019) ESA, CNES Версія 2.0.7cds надає карти LC за 1992 - 2015 роки; версія 2.1.1 за 2016 – 2019 рр. 5-річні карти LC 300 м розрізнення
			Climate Monitoring from Space. ECV Inventory https://climatemonitoring.info/ecvinventory/ record ID: 11520	Moderate-розрізнення maps of Land-cover Type (клас міських та забудованих територій)	Нааявний (1992-2015) ESA, NOAA, CNES Щорічні карти LC 300 м розрізнення

Індикатор	Істотна змінна (EV)	Продукт істотної змінної (EV Product)	Джерела на основі супутникових даних	Продукт супутникових даних	Примітка
	Густина населення (пропонований)	Густина населення	Global Human Settlement Layer (GHSL) datasets https://ghsl.jrc.ec.europa.eu/download.php?ds=pop	Global Human Settlement Layer (карти густоти населення та поселень)	Наявний (1975, 1990, 2000, 2015) JRC, DG REGIO Карти густоти населення та поселень розрізненням 250 м з використанням глобальних архівів дрібномасштабних супутникових знімків, даних перепису та відкритої географічної інформації
			Socioeconomic Data and Applications Center (SEDAC) https://sedac.ciesin.columbia.edu/data/set/gpw-v4-population-count-rev11/data-download	Gridded Population of the World (GPW), v4 (карти густоти населення)	Наявний (2000, 2010, 2015, 2020) Center for International Earth Science Information Network - CIESIN - Columbia University Карти густоти населення (кількість осіб на піксель), просторове розрізнення: 30 дугових секунд (~ 1 км на екваторі), 2,5, 15, 30 дугових хвилин та 1°

Індикатор 9.4.1. Викиди двоокису вуглецю (CO₂) на одиницю доданої вартості – це показник, що обчислюється як відношення викидів CO₂ від спалювання палива до доданої вартості від пов’язаної з цим економічної діяльності. Цей показник може бути обчислений для всієї економіки (загальна кількість викидів CO₂/ ВВП) (ВВП – валовий внутрішній продукт) або для конкретних секторів, зокрема виробничого сектору (викиди CO₂ від виробництва на одиницю доданої вартості виробництва). Викиди CO₂ на одиницю ВВП виражаються в кілограмах CO₂ на долар США ВВП станом на 2010 р. Викиди CO₂ від виробничих галузей на одиницю доданої вартості виробництва вимірюються у кілограмах еквіваленту CO₂ на одиницю (долар США) доданої вартості виробництва станом на 2010 р.

Індикатор	Істотна змінна (EV)	Продукт істотної змінної (EV Product)	Джерела на основі супутникових даних	Продукт супутникових даних	Примітка
9.4.1. Викиди CO₂ на одиницю доданої вартості	Потоки антропогенних викидів парникових газів	Див. Індикатор 3.9.1			
	Вуглекислий газ, метан та інші парникові гази				

Індикатор 11.1.1. Індикатор зосереджується на відстеженні трьох аспектів: нетрі, неформальні поселення та незадовільні житлові умови, що забезпечує універсальність охоплення цього показника. При застосуванні дистанційного зондування для розрахунку індикатора 11.1.1. першим важливим завданням є виявлення об'єктів або неблагополучних районів на міському або національному масштабі. Більшість досліджень дистанційного зондування при картографуванні в масштабі району (поселення) використовують оптичні зображення дуже високого розрізнення. Можливе опосередковане використання істотної змінної «Земний покрив» для виявлення в межах класу міських та забудованих територій осередків неблагополучних поселень на основі супутникових даних високого просторового розрізнення (SPOT 5, WorldView-3) та SAR (TerraSAR-X) для кількісної оцінки масштабу поселення в поєднанні з даними щодо густоти населення за даними наземних обстежень.

14.04.2020 GEO and UN-Habitat оголосили про започаткування програми «Earth Observation Toolkit for Sustainable Cities and Communities», що має на меті визначення потреб, вимог до даних та надаватиме практичні вказівки щодо інтеграції супутникових та наземних даних з національною статистикою, соціально-економічними даними

Індикатор	Істотна змінна (EV)	Продукт істотної змінної (EV Product)	Джерела на основі супутникових даних	Продукт супутникових даних	Примітка
11.1.1. Частка міського населення, яке проживає в нетрях, неформальних поселеннях або незадовільних житлових умовах	Земний покрив (пропонований)		Див. Індикатор 7.1.1		

Індикатор 11.3.1. Обчислення індикатора потребує оцінювання двох компонентів зростання використання землі та приросту населення. У той час як показник приросту населення є очевидним, показник використання землі визначається як частка площі щойно освоєної (використаної) урбанізованої землі у загальній площі конкретної урбанізованої території. Для оцінювання індикатора у континентальному та національному масштабах можуть бути ефективно використані, зокрема, карти даних густоти населення і карти даних щільності забудови ділянок. Вони можуть бути ефективно побудовані на основі наборів даних «Global Human Settlement Layer», розроблених у межах однойменного підходу та створеного інструментарію Спільним науково-дослідним центром (JRC) під егідою Єврокомісії.

Істотною змінною «Ступінь урбанізації на основі карт щільності забудови і густоти населення» не існує, але для обчислення індикатора ЦСР 11.3.1 використовуються набори даних «Global Human Settlement Layer»

Індикатор	Істотна змінна (EV)	Продукт істотної змінної (EV Product)	Джерела на основі супутникових даних	Продукт супутникових даних	Примітка
11.3.1. Відношення показника використання землі до показника приросту населення	Земний покрив	Див. Індикатор 2.4.1			
	Ступінь урбанізації на основі карт щільності забудови і густоти населення (пропонована)	<p>Карти даних щільності забудови ділянок</p> <p>Карти даних густоти населення</p> <p>Карти ступеню урбанізації</p>	<p>Global Human Settlement Layer (GHSL) datasets https://ghsl.jrc.ec.europa.eu/download.php?ds=smod</p>	<p>GHS-BUILT – карти даних щільності забудови ділянок</p> <p>GHS-POP – карти даних густоти населення – на основі переписів населення</p> <p>GHS-SMOD – карти на основі поєднання GHS-BUILT та GHS-POP</p>	<p>Для оцінювання індикатора використовуються 2 основні шари даних GHSL, визначені на геопросторових сітках, що охоплюють 4 епохи: 1975–1990–2000–2015 рр.</p> <p>1) GHS-BUILT на сітках з 30 м, 250 м, 1 км на основі 40-річного архіву зображень Landsat з застосуванням методів машинного навчання.</p> <p>2) GHS-POP з розрізненням 250 м, 1 км на основі статистичних даних переписів населення.</p> <p>3) допоміжний шар GHS-SMOD з розрізненням 1 км на основі поєднання GHS-BUILT та GHS-POP, які характеризують ступінь урбанізації на основі моделі EUROSTAT</p>

Індикатор 11.6.2. Середньорічна концентрація, у перерахунку на кількість міського населення країни, дрібних зважених частинок діаметром меншим, ніж 2,5 мкм (PM2.5), і меншим, ніж 10 мкм (PM10) мкм, відповідно – це загальний показник забруднення повітря дрібнодисперсними твердими частинками, шкідливими для здоров'я. Вимірюється у мікрограмах на кубічний метр [мкг / м³]. Забруднення повітря спричиняється багатьма забруднювачами, серед яких тверді речовини. Ці частинки здатні глибоко проникати у дихальні шляхи і тому становлять небезпеку для здоров'я за рахунок збільшення смертності від респіраторних інфекцій та захворювань, раку легенів та вибраних серцево-судинних захворювань.

З індикатором 11.6.2 пов'язана єдина істотна змінна «Потоки антропогенних викидів парникових газів», що не відповідає реальності, оскільки дрібнодисперсні тверді частинки та аерозолі в атмосфері не є парниковими газами. До того ж, ця істотна змінна зовсім не містить продуктів, пов'язаних з дрібнодисперсними твердими частинками PM2.5 та PM10. Тому доцільно ввести нову істотну змінну «Дрібнодисперсні тверді частинки PM2.5 і PM10».

Індикатор	Істотна змінна (EV)	Продукт істотної змінної (EV Product)	Джерела на основі супутникових даних	Продукт супутникових даних	Примітка
11.6.2. Середньорічні рівні вмісту дрібних твердих частинок (наприклад, PM2.5 і PM10) в атмосфері міст (в перерахунку на кількість населення)	Потоки антропогенних викидів парникових газів	Див. Індикатор 3.9.1			
	Дрібнодисперсні тверді частинки PM2.5 і PM10 (пропонований)	Концентрація дрібнодисперсних твердих частинок в атмосфері PM2.5 і PM10	Copernicus Atmosphere Data Store https://ads.atmosphere.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/cams-europe-air-quality-forecasts?tab=form	Концентрація дрібнодисперсних твердих частинок в атмосфері PM2.5 і PM10	Сервіс і набір даних CAMS прогнозування якості повітря у Європі забезпечує щоденний аналіз і прогноз якості повітря (у тому числі PM2.5, PM10 у $\mu\text{g}/\text{m}^3$) для континентальної Європи. Покриття даними на сітці з високою роздільною здатністю $0,1^\circ \times 0,1^\circ$ (10 км x 10 км), у межах: (схід $25,0^\circ$, захід $45,0^\circ$, південь $30,0^\circ$, північ $70,0^\circ$) і цілком охоплює Україну
			European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF) https://apps.ecmwf.int/datasets/data/cams-nrealtime/levtype=sfc/	Концентрація дрібнодисперсних твердих частинок в атмосфері PM2.5 і PM10	Сервіс і набір даних CAMS Near-real-time під керуванням ECMWF забезпечує щоденний (двічі на день) глобальний аналіз і прогноз про гази у тропосфері, озон та аерозолі, серед яких концентрації дрібнодисперсних частинок PM2.5, PM10 у $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Продукти даних доступні від 2012 р. до сьогодні. Дані надаються при горизонтальній роздільній здатності 40 км x 40 км на 60 вертикальних рівнях від поверхні до максимальної висоти 60 км. Забезпечується глобальне географічне покриття

Індикатор 15.1.1. Індикатор дозволяє оцінити відносну площу лісів в країні (у %). Наявність точних даних про площу лісів країни є ключовим елементом політики щодо збереження та відновлення лісу і може допомогти виявити несталі методи ведення лісового і сільськогосподарського секторів.

Індикатор	EV, тип змінної	EV Продукт (частота/ розрізнення)	Джерела супутникових даних	Примітка
15.1.1. Площа лісів в процентному відношенні до загальної площі суші	1. Земний покрив	Див. Індикатор 6.6.1		
	2. Земний покрив (категорія ліс)	Витягнута з EV: Земний покрив	Global Forest Change 2000–2018 V1.6 (http://earthenginepartners.appspot.com/science-2013-global-forest/download_v1.4.html , http://earthenginepartners.appspot.com/science-2013-global-forest)	Результати аналізу часових рядів зображень Landsat (просторове розрізнення – 30 м), які характеризують глобальну протяжність лісів і зміни за період з 2000 по 2018 рр. (University of Maryland). Цей глобальний набір даних розділений на плитки розміром 10°x10°, що складаються з семи файлів на плитку
	3. Впливи пожеж	Випалені площі (періодичність: 24 годинні; розрізнення: 30 м)	Copernicus Global Land Service (https://land.copernicus.eu/global/products/ba)	Продукт Burnt Areas (BA), версія 1, отримується з добових даних супутника PROBA-V з просторовим розрізненням 300 м. Продукт розраховується щоденно та надається у реальному часі. Часовий ряд: квітень 2014 р. – теперішній час
			The Land Processes Distributed Active Archive Center (LP DAAC) (https://lpdaac.usgs.gov/products/mcd64a1v006/)	Комбінований продукт даних Terra і Aqua MCD64A1, версії 6, випалені площі є щомісячним глобальним 500 м продуктом, що містить інформацію про площі випалювання на піксель та якість. Часовий ряд: 2000 р. – теперішній час
			Global Fire Emissions Database (http://www.globalfiredata.org/analysis.html)	Global Burned Area Product - DB Глобальна база даних по викидах від пожеж містить супутникову інформацію (500 м MODIS) про пожежну активність і продуктивність рослинності для оцінки щомісячної спаленої площі і викидів від пожеж. Набори даних: спалена площа, викиди вуглецю і сухої речовини, внесок різних типів пожеж в загальні викиди, список коефіцієнтів викидів для розрахунку викидів газу і аерозолів. Просторове розрізнення 0,25° градуса. Часова шкала: щоденно. Часовий ряд: 1997 р. – теперішній час

Індикатор	EV, тип змінної	EV Продукт (частота/розрізнення)	Джерела супутникових даних	Примітка
		Карта активних пожеж (періодичність: 6-годинні в усіх широтах від полярної та 1-годинні від геостационарної орбіт; розрізнення: 0.25–1 км (Polar); 1–3 км (Geo))	EARTHDATA (https://earthdata.nasa.gov/earth-observation-data/near-real-time/firms/active-fire-data) Fire Map (https://firms.modaps.eosdis.nasa.gov/map) Active Fire Data (https://firms.modaps.eosdis.nasa.gov/active_fire/#firms-shapefile)	Інформаційна система про пожежі NASA для системи управління ресурсами (NASA's Fire Information for Resource Management System, FIRMS) поширює щоденні дані активних пожеж в близькому до реального часу (NRT) з середнім просторовим розрізненням (MODIS) NASA і системи радіометра у видимому та інфрачервоному діапазоні (VIIRS) NASA, та активні пожежні продукти MODIS (MCD14DL) і VIIRS 375 м (VNP14IMGTDL_NRT). Дані VIIRS доповнюють виявлення пожеж MODIS, але покращене просторове розрізнення 375 м. Дані MODIS доступні з листопада 2000 р. (для Terra) і з липня 2002 р. (для Aqua) по теперішній час, дані VIIRS 375 м в даний час доступні з 20 січня 2012 р. по теперішній час
		Радіаційна потужність пожежі (періодичність: 6-годинні в усіх широтах від полярної та 1-годинні від геостационарної орбіт; розрізнення: 0.25–1 км (Polar); 1–3 км Geo))	EARTHDATA (https://earthdata.nasa.gov/earth-observation-data/near-real-time/firms/c6-mcd14dl)	Продукт MODIS/Aqua+Terra Thermal Anomalies/Fire locations 1км FIRMS V006 NRT (Vector data), коротка назва MCD14DL, в атрибутивній інформації містить інтегровану в пікселі потужність випромінювання вогню в МВт (мегават)

Індикатор 15.2.1. Індикатор складається з п'яти субіндикаторів (річні чисті зміни площі лісів; запаси наземної біомаси в лісі; частка лісових площ, розташованих в межах встановлених законом охоронюваних територій; частка лісових площ в рамках довгострокового плану управління лісами; площа лісів, на яких діє система сертифікації лісоуправління, що пройшла незалежну перевірку), які вимірюють прогрес у всіх аспектах сталого лісокористування. Екологічні цінності лісів охоплюються трьома субіндикаторами, сфокусованими на розширення площі лісів, біомасі в межах лісової площі та захисту і підтримці біологічного різноманіття, а також природних і пов'язаних з ними культурних ресурсів. Соціальні та економічні цінності лісів узгоджуються з екологічними цінностями за допомогою планів сталого управління. Субіндикатор забезпечує додаткову кваліфікацію управління лісовими ділянками шляхом оцінки ділянок, які пройшли незалежну перевірку на відповідність ряду національних або міжнародних стандартів.

Індикатор	EV, тип змінної	EV Продукт (частота/розрізнення)	Джерела супутникових даних	Примітка
15.2.1. Прогрес в переході на невиснажливе ведення лісового господарства	1. Земний покрив			Див. Індикатор 15.1.1

Індикатор 15.3.1. Деградація земель визначається як зниження або втрата біологічної або економічної продуктивності та складності зрошуваних і незрошуваних орних земель, або пасовищ, лісів і лісових масивів в результаті поєднання чинників впливу, включаючи методи землекористування та управління. Нейтралітет деградації земель визначається як стан, при якому кількість та якість земельних ресурсів, необхідних для підтримки екосистемних функцій і послуг та підвищення продовольчої безпеки, залишаються стабільними або збільшуються в певних часових і просторових масштабах та екосистемах. Індикатор є бінарною кількісною оцінкою (погіршення / не погіршення), основою на аналізі наявних даних за трьома субіндикаторами (тенденції в рослинному покриві, продуктивність земель і накопичення вуглецю), які повинні бути перевірені та представлені національною владою для визначення ступеня деградування земель по всій площі земель.

Індикатор	EV, тип змінної	EV Продукт (частота/розрізнення)	Джерела супутникових даних	Примітка
15.3.1. Площа деградованих земель в процентному відношенні до загальної площі суші	1. Впливи пожеж	Див. Індикатор 15.1.1.		
	2. Земний покрив	Див. Індикатор 6.6.1.		
	3. Ґрунтовий вуглець	% вуглецю в ґрунті (періодичність: 5–10 річні; розрізнення: 20 км)	GSOCmap (http://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/soil-maps-and-databases/global-soil-organic-carbon-map-gsocmap/en/)	GSOCmap (Global Soil Organic Carbon Map) – глобальна карта органічного вуглецю в ґрунті (soil organic carbon, SOC),. Останнє оновлення – 2018 р. Карта дозволяє оцінити запас SOC від 0 до 30 см на 1 км сітці. При побудові карти GSOC використовувалися, зокрема, дані про земний покрив (продукт MODIS Land Cover, MCD12Q1, супутники Terra і Aqua, з просторовим розрізненням 500 м, див. 6.6.1)
	Об'ємна щільність мінерального ґрунту до 30 см і 1 м (періодичність: 5–10 річні; розрізнення: 20 км)	SoilGrids250m (https://www.soilgrids.org/)	SoilGrids250m – глобальна 3D-інформаційна система ґрунтів з просторовим розрізненням 250 м, що містить просторові прогнози для вибору властивостей ґрунту (на шести стандартних глибинах). Для розрахунку прогнозованого запасу SOC на 0–30 см (і на більшу глибину) можна використовувати продукти проценту SOC, об'ємної щільності та ін.	

Індикатор 15.4.1. Індикатор показує часові тенденції в усередненому процентному відношенні кожної важливої для гірського біорізноманіття ділянки (тобто такої, яка вносять значний вклад в глобальну стійкість біорізноманіття), якою покрита заповідна територія. Охорона важливих ділянок життєво важлива для стримування скорочення біорізноманіття та забезпечення довгострокового і сталого використання природних ресурсів гір. Створення охоронюваних територій є важливим механізмом для досягнення цієї мети, і цей показник служить засобом вимірювання прогресу в справі збереження, відновлення та сталого використання гірських екосистем та їх послуг відповідно до зобов'язань за міжнародними угодами.

Індикатор	EV, тип змінної	EV Продукт (частота/розрізнення)	Джерела супутникових даних	Примітка
15.4.1. Частка заповідних територій серед важливих для гірського біорізноманіття ділянок	1. Заповідні території		https://www.protectedplanet.net/	Всесвітня база даних по територіях, що охороняються
	2. Цифрова модель рельєфу		USGS Earth Explorer: Space Shuttle Radar Topography Mission (https://earthexplorer.usgs.gov/), SRTM 90m DEM Digital Elevation Database (http://srtm.csi.cgiar.org/srtmdata/)	Цифрова модель рельєфу з 90-метровим просторовим розрізненням, отримана місією NASA "Shuttle Radar Topography Mission" (SRTM) у 2000 р. та удосконалена у 2014 р., з абсолютною вертикальною точністю меншою 16 м (https://gisgeography.com/free-global-dem-data-sources/)
			ASTER Global Digital Elevation Model (https://asterweb.jpl.nasa.gov/gdem.asp), NASA Earthdata (https://search.earthdata.nasa.gov/search/), Japan Space Systems. (https://ssl.jspacesystems.or.jp/ersdac/GDEM/E/)	Глобальна цифрова модель рельєфу (ASTER GDEM V3), отримана радіометром ASTER (супутник Terra), була створена шляхом складання сцен (60 км x 60 км на місцевості) за період 2000–2013 рр. з глобальним розрізненням 90 м і 30 м для США та є спільною розробкою NASA і Міністерства економіки, торгівлі та промисловості Японії (METI)
			ALOS World 3D (https://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/en/aw3d30/)	ALOS World 3D Version 3.1 (AW3D30) – цифрова модель поверхні з розрізненням 30 м, отримана JAXA за допомогою інструменту PRISM на супутнику ALOS. На теперішній час – це найточніші дані про висоту в глобальному масштабі.
			Copernicus Digital Elevation Model (https://spacedata.copernicus.eu/web/cscda/news/-/asset_publisher/NQThjzBp3dRm/content/copernicus-dem-a-new-digital-elevation-model-for-the-copernicus-programme)	DEM Copernicus – цифрова модель поверхні (DSM), яка представляє поверхню Землі, включаючи будівлі, інфраструктуру та рослинність. Модель охоплює райони за межами 60° на північ та південь. 90-метровий набір даних доступний по всьому світу відповідно до безкоштовної, повної і відкритою політики Sentinel. 30-метровий і 10-метровий набір даних (для зони ЕЕА-39, нема для України) доступні тільки для відповідних осіб і видів використання

Індикатор 15.4.2. Індекс рослинного покриву призначений для вимірювання змін зеленої рослинності в гірських районах (лісах, чагарниках, деревах, пасовищах, сільськогосподарських угіддях та ін.) та надає інформацію про зміни в рослинному покриві. Існує прямий взаємозв'язок між зеленим покриттям гірських територій та їх станом здоров'я і, як наслідок, їх здатністю виконувати свої екосистемні ролі. Моніторинг змін гірської рослинності з плином часу забезпечує адекватну оцінку стану збереження гірських екосистем. Моніторинг «індексу зеленого покриву» гір з плином часу може надати інформацію про ліси, деревний і рослинний покриви в цілому. Зменшення індексу буде зазвичай пов'язане з надмірним випасом пасовищ, розчищенням земель, урбанізацією, експлуатацією лісів, заготівлею деревини, збором дров, пожежами. Його збільшення буде пов'язано із зростанням рослинності, можливо, пов'язаним з програмами відновлення земель, лісовідновлення або залісненням.

Індикатор	EV, тип змінної	EV Продукт (частота/розрізнення)	Джерела супутникових даних	Примітка
15.4.2. Індекс рослинного покриву гір	1. Чиста первинна продуктивність		непрямо через Copernicus Global Land Service (https://land.copernicus.eu/global/products/dmp)	Чиста первинна продуктивність (NPP) безпосередньо пов'язана з продуктивністю по сухій речовині (dry matter productivity, DMP). Перехід від DMP до NPP описано у Product User Manual (https://land.copernicus.eu/global/sites/cgls.vito.be/files/products/CGLOPS1_PUM_DMP300m-V1_I1.22.pdf). Продукт DMP отримується з добових даних супутника PROBA-V з просторовим розрізненням 300 м. Змінні розраховуються глобально на 10-денній основі та надаються користувачу практично в реальному часі кожні 10 днів. Своєчасність: практично в реальному часі протягом 3 днів після закінчення періоду синтезу. Часовий ряд: січень 2014 р. – теперішній час
			The Land Processes Distributed Active Archive Center (LP DAAC) (https://lpdaac.usgs.gov/products/mod17a3hv006/), https://modis.gsfc.nasa.gov/data/data_prod/mod17.php	Продукт MOD17A3H версії 6 (супутники Terra та Aqua) надає інформацію про річну NPP з просторовим розрізненням 500 м.. Річна NPP виходить з суми всіх 8-денних продуктів чистого фотосинтезу (MOD17A2H) за даний рік. Часова шкала: щорічно. Часовий ряд: 2000 р. – теперішній час
	2. Наземна біомаса	Наземна біомаса (періодичність: щорічно; розрізнення: 500 м-1 км	непрямо через Copernicus Global Land Service (https://land.copernicus.vgt.vito.be/PDF/portal/Application.html#Home)	Обчислюється за допомогою Copernicus Global Land Service, що надає біогеофізичні продукти глобальної поверхні Землі

Індикатор	EV, тип змінної	EV Продукт (частота/розрізнення)	Джерела супутникових даних	Примітка
3. Частка поглиненої фотосинтетичної активної радіації (FAPAR)		Карти FAPAR для моделювання (періодичність: щоденно; розрізнення: 200/500 м)	Copernicus Global Land Service (https://land.copernicus.eu/global/products/fapar)	Продукт отримується з добових даних супутника PROBA-V з просторовим розрізненням 300 м. Змінні розраховуються глобально на 10-денній основі та надаються в реальному часі кожні 10 днів. Продукт поставляється по всій земній кулі (від -180° E до +180° W і від +75° N до -60° S) і надається в форматі netCDF4-CF, що містить значення змінних (LAI, FAPAR або FCover). Своєчасність: практично в реальному часі протягом 3 днів після закінчення періоду синтезу. Часовий ряд: січень 2014 р. – теперішній час
			Copernicus Open Access Hub (https://scihub.copernicus.eu) – https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home	Продукт рівня 2 OLCI Global Vegetal Index (faPAR), отриманий із супутника Sentinel-3, з просторовим розрізненням 300 м. Часова шкала: щоденно. Часовий ряд: 2016 р. – теперішній час (https://sentinel.esa.int/web/sentinel/technical-guides/sentinel-3-olci)
			The Land Processes Distributed Active Archive Center (LP DAAC) (https://lpdaac.usgs.gov/products/vnp15a2hv001/)	Дані продукту VIIRS LAI/FPAR Version 1 (VNP15A2H) надають інформацію про шари рослинного покриву з просторовим розрізненням 500 м. Датчик VIIRS супутника Suomi. Часова шкала: 8 днів. Часовий ряд: 2012 р. – теперішній час
			The Land Processes Distributed Active Archive Center (LP DAAC) (https://lpdaac.usgs.gov/products/mcd15a3hv006/)	Продукт MODIS Level 4, combined FPAR/LAI (MCD15A3H Version 6) – це 4-денний композиційний набір даних розміром пікселя 500 м. Алгоритм вибирає найкращий піксель, доступний з усіх наявних обох датчиків MODIS, розташованих на супутниках Terra та Aqua NASA протягом 4 днів. Часовий ряд: 2000 р. – теперішній час
4. Індекс площі листа (LAI)		Карти LAI для моделювання (періодичність: щоденно; розрізнення: 250 м)	Copernicus Global Land Service (https://land.copernicus.eu/global/products/lai)	Продукт отримується з добових даних супутника PROBA-V з просторовим розрізненням 300 м. Продукт поставляється по всій земній кулі (від -180° E до +180° W і від +75° N до -60° S) і надається в форматі netCDF4-CF, що містить значення змінних (LAI, FAPAR або FCover). Своєчасність: практично в реальному часі протягом 3 днів після закінчення періоду синтезу. Часовий ряд: січень 2014 р. – теперішній час
			The Land Processes Distributed Active Archive Center (LP DAAC) (https://lpdaac.usgs.gov/products/vnp15a2hv001/)	Дані продукту VIIRS LAI/FPAR Version 1 (VNP15A2H) надають інформацію про шари рослинного покриву з просторовим розрізненням 500 м. Датчик VIIRS розташований на борту спільного супутника Suomi національного полярно-орбітального партнерства NOAA і NASA. Часова шкала: 8 днів. Часовий ряд: 2012 р. – теперішній час

Індикатор	EV, тип змінної	EV Продукт (частота/ розрізнення)	Джерела супутникових даних	Примітка
			The Land Processes Distributed Active Archive Center (LP DAAC) (https://lpdaac.usgs.gov/products/mcd15a3hv006/)	Продукт MODIS Level 4, combined FPAR/LAI (MCD15A3H Version 6) – це 4-денний композиційний набір даних розміром пікселя 500 м. Алгоритм вибирає найкращий піксель, доступний з усіх наявних обох датчиків MODIS, розташованих на супутниках Terra та Aqua NASA протягом 4 днів. Часовий ряд: 2000 р. – теперішній час