

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ СУПУТНИКОВОГО МОНІТОРИНГУ СТАЛОГО РОЗВИТКУ

Анотація. У статті розглядаються сучасні інформаційні технології супутникового моніторингу та їх застосування для підтримки сталого розвитку в Україні. Проаналізовано європейський досвід інтеграції платформ Copernicus, EO4SD/AgriSense та GoldenRAM, що забезпечують комплексний контроль за станом екологічних, аграрних та промислових процесів із використанням обробки великих об'ємів різнорідних даних, штучного інтелекту та геопросторової аналітики. Визначено проблеми української системи моніторингу та запропоновано методологічні підходи для комплексної оцінки природних та соціально-економічних процесів. Впровадження супутникових технологій сприятиме ефективному управлінню ресурсами, відновленню територій та реалізації національної політики сталого розвитку.

Ключові слова: супутниковий моніторинг, дистанційне зондування, інформаційні технології, цілі сталого розвитку, Copernicus, EO4SD, GoldenRAM, природні ресурси.

Вступ. Сталый розвиток у сучасних умовах постає як базова концепція формування ефективної соціально-економічної та екологічної політики, що ґрунтується на необхідності гармонізації економічного зростання, раціонального природокористування та збереження довкілля.

Глобальні цілі сталого розвитку (Sustainable Development Goals, SDGs), визначені Організацією Об'єднаних Націй, встановлюють універсальну основу для формування інтегрованої соціально-економічної стратегії та екологічної політики на глобальному рівні [1]. Вони орієнтовані на забезпечення ефективного використання природних ресурсів, підтримку екологічної рівноваги та зміцнення стійкості соціальних і економічних систем до сучасних глобальних та регіональних викликів. Роль цих цілей у досягненні сталого розвитку полягає у формуванні інтегрованого підходу до вирішення проблем, що виникають внаслідок техногенного навантаження, змін клімату та інших глобальних загроз.

Для України, яка перебуває у процесі активної інтеграції в глобальні екологічні та економічні трансформації, розробка та впровадження національної стратегії сталого розвитку набуває особливої значущості. Таке зростання актуальності зумовлене потребами відновлення природних комплексів, трансформованих інтенсивним техногенним навантаженням і наслідками військових дій, а також необхідністю підвищення ефективності управління природними ресурсами на регіональному рівні.

ГЛОБАЛЬНІ ЦІЛІ Сталого Розвитку



Рисунок 1 - Глобальні цілі сталого розвитку [1]

Одним із ключових бар'єрів на шляху реалізації принципів сталого розвитку залишається нестача своєчасної, достовірної та структурованої інформації про стан природного середовища, динаміку землекористування, особливості функціонування водних та лісових екосистем, а також соціально-економічні процеси. Обмеженість аналітичної інформації ускладнює формування об'єктивного розуміння екологічної ситуації, що перешкоджає прогнозуванню можливих ризиків і знижує результативність управлінських рішень на державному та регіональному рівнях.

Сучасні супутникові технології моніторингу відкривають принципово нові можливості для оперативного отримання, інтеграції та аналізу даних про стан територій, екологічні процеси та техногенні зміни. Використання дистанційного зондування Землі створює підґрунтя для формування цілісної й просторово прив'язаної аналітичної бази, необхідної для оцінювання тенденцій і прогнозування розвитку природних та соціально-економічних систем. Водночас науково-технічна інфраструктура супутникового моніторингу в Україні залишається недостатньо розвиненою: бракує узгоджених підходів до гармонізації джерел даних, методів їх обробки та адаптації технологічних рішень до специфіки регіональних потреб.

У цьому контексті особливої уваги потребує дослідження потенціалу сучасних інформаційних технологій супутникового моніторингу, здатних забезпечити комплексну оцінку екологічних, соціальних та економічних процесів. Їх інтеграція у систему стратегічного планування може стати ключовою передумовою формування науково обґрунтованих рішень і підвищення ефективності державної політики сталого розвитку.

Постановка проблеми. У сучасних умовах трансформації природокористування та просторового розвитку України виникає потреба у формуванні цілісної системи моніторингу, здатної забезпечувати своєчасне та об'єктивне відображення стану навколишнього середовища. Інтенсивні техногенні навантаження, деградаційні процеси в екосистемах, наслідки військових дій та зростання масштабів антропогенного впливу зумовлюють ускладнення екологічної ситуації на значній частині території країни. За

таких умов ефективність управління природними ресурсами значною мірою залежить від наявності достовірної, структурованої та просторово деталізованої інформації.

Разом з тим, існуюча інформаційно-аналітична база не забезпечує повного та оперативного охоплення екологічних і соціально-економічних процесів, що відбуваються на регіональному рівні. Традиційні методи збору даних характеризуються обмеженою періодичністю оновлення, нерівномірністю покриття територій та значними витратами ресурсів. Це ускладнює проведення об'єктивної оцінки стану земельних, водних і лісових ресурсів, а також стримує розробку науково обґрунтованих управлінських рішень у сфері сталого розвитку.

Супутникові технології дистанційного зондування Землі відкривають можливості для створення багаторівневої системи моніторингу, що передбачає комплексне поєднання геопросторових, екологічних і соціально-економічних показників. Однак, попри наявність технологічних рішень, в Україні все ще відсутня узгоджена інфраструктура інтеграції супутникових даних у процеси стратегічного планування. Існуючі розрізнені підходи до обробки та інтерпретації інформації не дозволяють повною мірою реалізувати потенціал сучасних методів моніторингу.

Отже, проблема полягає у необхідності формування науково обґрунтованого підходу до використання супутникових даних для комплексної оцінки стану природного середовища та аналізу регіональних соціально-економічних процесів. Вирішення цього завдання є ключовою умовою підвищення ефективності державної та регіональної політики сталого розвитку й забезпечення належного рівня екологічної безпеки.

Мета і завдання дослідження. Метою дослідження є наукове обґрунтування застосування сучасних інформаційних технологій супутникового моніторингу для забезпечення комплексного аналізу екологічних, соціальних та економічних процесів в Україні з метою підтримки національної політики сталого розвитку.

Для досягнення поставленої мети необхідно забезпечити вирішення наступних завдань:

1. Провести аналітичний огляд сучасних інформаційних технологій супутникового моніторингу та їх застосування у сфері сталого розвитку.
2. Дослідити специфічні потреби України щодо моніторингу природних ресурсів, землекористування та соціально-економічних процесів на регіональному та національному рівнях.
3. Виявити основні проблеми та обмеження існуючих систем супутникового моніторингу щодо їх інтеграції у процеси сталого розвитку.
4. Розробити концептуальні підходи та методологію використання супутникових даних для комплексної оцінки стану екологічних та соціально-економічних систем в Україні.
5. Обґрунтувати ефективні механізми інтеграції супутникових технологій у національні інформаційні системи, що забезпечують прийняття стратегічно обґрунтованих рішень у сфері сталого розвитку.

Реалізація поставлених завдань дозволить створити науково-методичну основу для ефективного використання супутникових технологій у процесах сталого розвитку

Україні та забезпечить підґрунтя для подальших практичних досліджень і прийняття управлінських рішень.

Основна частина. Супутникові інформаційні технології у Європі широко застосовуються для комплексного моніторингу природних, аграрних та промислових процесів, що безпосередньо сприяють досягненню цілей сталого розвитку (ЦСР) [2-9]. Значний потенціал забезпечується такими платформами, як Copernicus, Earth Observation for Sustainable Development (EO4SD), GoldenRAM, AgriSense, GEOSS, MinLand та INSPIRE, які інтегрують різноманітні дані дистанційного зондування Землі, алгоритми обробки великих даних, штучний інтелект та методи машинного навчання [2-11]. Програма Copernicus, реалізована Європейським Союзом, надає відкритий доступ до супутникових даних Sentinel, що використовуються для оцінки стану суші, водних ресурсів, прибережних екосистем атмосфери. Дані Sentinel-1 забезпечують високоточний радарний аналіз земної поверхні, що застосовується для оцінки та контролю підтоплень, руху ґрунтів. Серія Sentinel-2 надає спектральні зображення високої роздільної здатності, які застосовуються для моніторингу рослинного покриву, виявлення деградації ґрунтів та оцінки якості води. Дані Sentinel-3 використовуються для оцінки температури поверхні води, стану морських екосистем та кліматичних показників, а Sentinel-5p забезпечує контроль забруднення атмосфери та концентрації газів. Використання хмарних обчислень і технології Data Cube дозволяє інтегрувати великі масиви даних із різних джерел, здійснювати автоматизовану обробку та формувати аналітичні висновки у режимі реального часу. Інтеграція супутникових даних через глобальні системи, зокрема GEOSS (Global Earth Observation System of Systems), підвищує точність і оперативність прийняття управлінських рішень. Безумовно програма має плани розширення на 6 нових місій серед яких [2]:

- CHIME: Гіперспектральна місія візуалізації навколишнього середовища Copernicus;
- CIMR: Мікрохвильовий радіометр Copernicus Imagine;
- CO2M: Антропогенний моніторинг вуглекислого газу Copernicus;
- CRISTAL: Альтиметр топографії полярного льоду та снігу Copernicus;
- LSTM: Моніторинг температури поверхні землі;
- ROSE-L: Система радіолокаційного спостереження L-діапазону.

Це означає, що з'явиться більше відкритих даних, що дозволить вирішувати більше коло прикладних задач та самим підсилювати роботу над розробкою нових інфраструктур для досягнення цілей сталого розвитку. На рисунку 2 представлено розширення місії Copernicus.

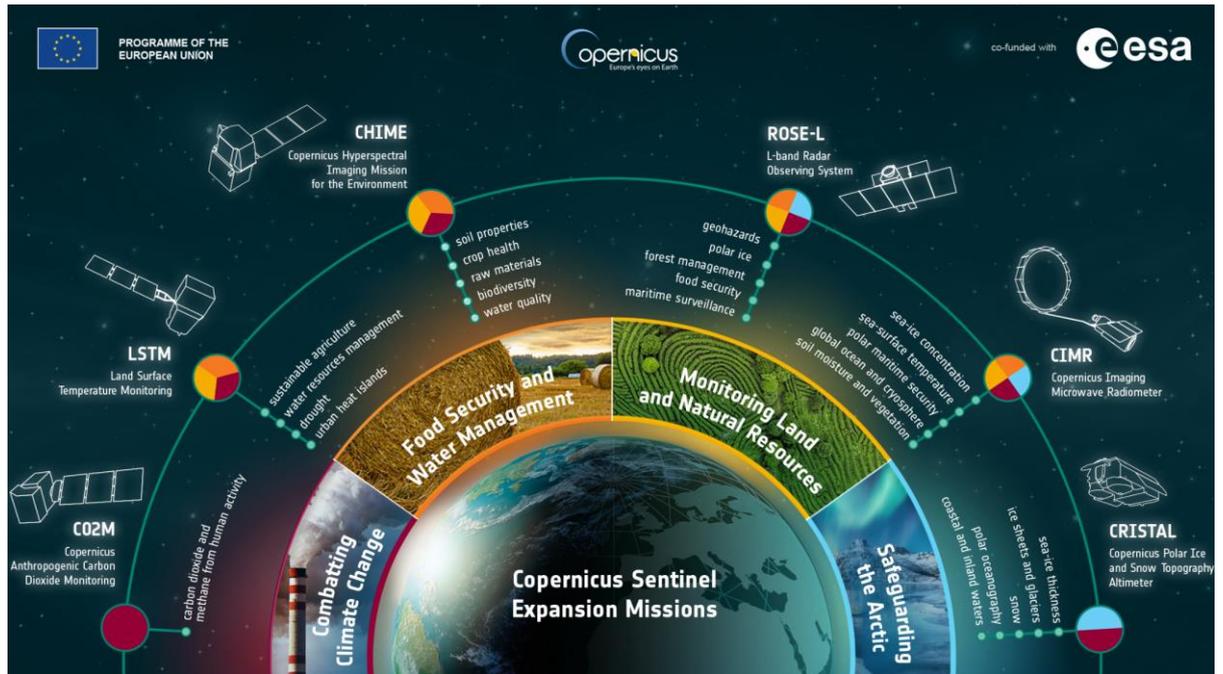


Рисунок 2 - Розширення місії програми Copernicus [2]

У сільському господарстві супутникові технології застосовуються для оцінки стану посівів, вологості ґрунтів, вегетаційних індексів та прогнозування врожайності. Платформа AgriSense поєднують супутникові зображення з локальними метеорологічними даними та використовують алгоритми машинного навчання для моделювання росту культур і оптимізації агротехнологій. EO4SD Agriculture дозволяє прогнозувати врожайність, управляти водними ресурсами та внесенням добрив, підвищуючи ефективність використання земель. Використання хмарних обчислень забезпечує обробку великих обсягів даних у режимі реального часу та формування детальних аналітичних звітів для оперативного управління агропромисловими комплексами [5-8].

Супутникові технології також застосовуються для моніторингу видобутку корисних копалин. Проект Golden RAM інтегрує гіперспектральні та радарні дані високої роздільної здатності, геологічні карти та алгоритми штучного інтелекту для оцінки запасів корисних копалин і контролю екологічних ризиків [10]. Платформи MinLand та INSPIRE сприяють сталому розвитку гірничодобувних регіонів, дозволяють оцінювати деградацію земель та планувати рекультиваційні роботи за допомогою сучасних геопросторових аналітичних інструментів і інтеграції супутникових та наземних даних.

Особлива увага приділяється моніторингу водних ресурсів та прибережних зон. Європейські платформи, такі як Copernicus Marine Environment Monitoring Service (CMEMS) та MyOcean, застосовують супутникові дані високої роздільної здатності для контролю якості води, прогнозування підтоплень та оцінки стану морських екосистем. Використання алгоритмів штучного інтелекту та моделей чисельного прогнозування дозволяє своєчасно виявляти потенційні загрози та забезпечувати сталий розвиток водних ресурсів.

Адаптація європейського досвіду до українських умов відкриває значні перспективи для реалізації ЦСР на національному рівні, особливо у контексті відбудови країни після завершення повномасштабної війни. В Україні вже діють національні програми дистанційного зондування Землі, які частково інтегрують дані Sentinel та інших міжнародних супутникових місій. Спираючись на те що Україна є аграрно - промисловою країною, використання сучасних супутникових платформ дозволить здійснювати системний моніторинг стану природних екосистем, оцінювати якість повітря та води в промислових і урбанізованих зонах, а також прогнозувати ризики деградації земель і наслідки стихійних явищ, що є критично важливим для відновлення зруйнованих територій [11]. У аграрному секторі супутникові платформи сприятимуть підвищенню врожайності, оптимізації використання водних ресурсів та забезпеченню продовольчої безпеки. У гірничій промисловості ці технології дозволяють оцінювати стан родовищ, проводити моніторинг видобутку, планувати рекультиваційні роботи та контролювати екологічні ризики. Моніторинг водних ресурсів та прибережних зон на основі супутникових даних, наземних вимірювань та алгоритмів штучного інтелекту сприяє сталому розвитку, відновленню територій та мінімізації негативного антропогенного впливу [11]. Для ефективного впровадження супутникових технологій в Україні у післявоєнний період необхідна розбудова національної обчислювальної та аналітичної інфраструктури, стандартизація геопросторових даних, інтеграція різнорідних джерел інформації та підготовка висококваліфікованих фахівців у сфері дистанційного зондування Землі, обробки великих даних і використання алгоритмів штучного інтелекту. Адаптація сучасних європейських платформ до особливостей території України, забезпечить підвищення ефективності реалізації ЦСР, природних ресурсів, відновлення та реконструкцію зруйнованих територій, екологічну безпеку та продовольчу стабільність на національному рівні.

Висновки. У результаті проведеного дослідження було систематизовано сучасні підходи та технології застосування інформаційних супутникових платформ у контексті досягнення цілей сталого розвитку. Аналіз європейського досвіду засвідчив, що інтеграція супутникових даних із сучасними інформаційно-технологічними інфраструктурами, включно з хмарними обчисленнями, системами машинного навчання та інструментами геопросторової аналітики, забезпечує ефективний моніторинг стану природного середовища та соціально-економічної діяльності.

Особливу увагу було приділено платформам Copernicus, GoldenRAM та EO4SD/AgriSense, які демонструють високий рівень технологічної інтеграції та надають широкий спектр сервісів — від збору та обробки супутникових зображень до формування аналітичних звітів, що використовуються для прийняття управлінських рішень [2-10]. Досвід Європейського Союзу підтверджує значну ефективність таких систем у реалізації завдань екологічного моніторингу, управління земельними ресурсами та контролю за видобутком корисних копалин.

Важливим аспектом є потенційна адаптація зазначених технологій до умов України, особливо у контексті відновлення та сталого розвитку територій після завер-

шення повномасштабної війни. Використання супутникового моніторингу може забезпечити оцінку стану земель, водних ресурсів, інфраструктури та природних екосистем, а також підвищити прозорість і ефективність управлінських рішень на всіх етапах відбудови.

Отже, інформаційні супутникові технології є ключовим інструментом комплексного моніторингу та підтримки сталого розвитку. Їхнє впровадження в національну практику здатне значно підвищити ефективність управління природними ресурсами, зменшити негативний вплив антропогенних факторів на навколишнє середовище та сприяти формуванню науково обґрунтованих стратегій розвитку держави.

ЛІТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Sustainable Development Strategy: European Horizons [Electronic resource]: Textbook / I. Yakymenko, L. Petrashko, T. Dyman, O. Salavor, E. Shapovalov, M. Galaburda, O. Nychyk, O. Martyniuk. – К. : NUFT, 2022. – 337 p.
2. Аналітичні матеріали, Copernicus Operations URL: sentiwiki.copernicus.eu
3. Аналітичні матеріали, ESA. EO Framework (EOF) – CSC – Architecture. ESA Earth Observation Framework. 16 червня 2024. URL: eof.esa.int
4. Аналітичні матеріали, ESA. EO Framework (EOF) – CSC – Specifications. ESA Earth Observation Framework. 12 червня 2025. URL: eof.esa.int
5. Аналітичні матеріали, ESA. EOF – CSC Operations Concept, Ground Segment Architecture. ESA / Copernicus (PDF). URL: sentiwiki.copernicus.eu
6. Аналітичні матеріали, EO4EU. “EO4EU Platform: A comprehensive architecture tailored to your goals.” EO4EU. URL: eo4eu.eu+1
7. Аналітичні матеріали, EO4EU. “An Integrated and Scalable Platform for Accessing and Analyzing Earth Observation Data.” (EGI2024). URL: eo4eu.eu
8. Аналітичні матеріали, EO4EU. “Unlocking Multi-Cloud Observability in the EO4EU Platform.” (White Paper) URL: eo4eu.eu
9. Аналітичні матеріали, EO4EU. “AI-Augmented Ecosystem for Earth Observation Data” (теоретичне обґрунтування і архітектура). URL: eo4eu.eu
10. Аналітичні матеріали, CORDIS / European Commission. “GoldenRAM – EO Platform Supporting Critical Raw Materials Industry in Europe” (Project fact sheet). URL: [CORDIS+2CORDIS+2](https://cordis.europa.eu/CORDIS+2CORDIS+2)
11. Kavats, O., Khramov, D., & Sergieieva, K. (2022). Surface Water Mapping from SAR Images Using Optimal Threshold Selection Method and Reference Water Mask. *Water*, 14(24), 4030, DOI: <https://doi.org/10.3390/w14244030>.

Received 17.09.2025.
Accepted 22.09.2025.

Information technologies for satellite monitoring of sustainable development

This article examines modern satellite monitoring information technologies and their application for supporting sustainable development in Ukraine. The concept of sustainable development is considered as a foundation for forming effective socio-economic and environmental policies, aimed at harmonizing economic growth, rational natural resource management, and environmental protection. Particular attention is given to the challenges of restoring natural complexes and effectively managing land, water, and forest resources, which

have been exacerbated by intensive anthropogenic pressures and the consequences of the full-scale war.

The European experience of integrating satellite platforms, such as Copernicus, EO4SD/AgriSense, and GoldenRAM, is analyzed, demonstrating the high efficiency of comprehensive monitoring of environmental, agricultural, and industrial processes through the use of big data processing algorithms, artificial intelligence, and geospatial analytics. It is shown that the integration of satellite data with modern IT infrastructures enables operational control of ecosystem status, crop yield forecasting, water resource management, and assessment of ecological risks associated with mineral extraction.

The article identifies key challenges for the Ukrainian monitoring system, including insufficient national computing infrastructure, lack of standards for integrating heterogeneous data sources, and a shortage of qualified specialists. Conceptual approaches and methodologies for using satellite data to comprehensively assess the state of environmental and socio-economic systems in Ukraine are proposed.

It is substantiated that the implementation of these technologies will enhance the effectiveness of national sustainable development policies, increase transparency in decision-making, support post-war restoration and reconstruction of territories, ensure environmental safety, and promote food security at the national level.

Кавац Олена Олександрівна - к.т.н., доц., доцент кафедри інформаційних технологій і систем Українського державного університету науки і технологій, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0172-7856>

Kavats Olena Oleksandrivna - Ph.D., Associate Professor of the Department of Information Technology and Systems of Ukrainian State University of Science and Technology, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0172-7856>