

DOI: <https://doi.org/10.32782/2521-666X/2025-92-2>  
УДК 339.187.44 : 004

**Верстяк А.В.**

доктор економічних наук,  
Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8090-1233>

**Верстяк О.М.**

кандидат економічних наук,  
Чернівецький торговельно-економічний інститут  
Державного торговельно-економічного університету  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4222-4964>

**Вінничук І.С.**

кандидат економічних наук,  
Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5961-550X>

**Verstiak Andrii**

Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University

**Verstiak Oksana**

Chernivtsi Institute of Trade and Economics  
of State University of Trade and Economics

**Vinnichuk Igor**

Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University

## **ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ДОСЛІДЖЕННІ ЕКОЛОГО-ЕКОНОМІЧНИХ СИСТЕМ: АНАЛІТИЧНІ ПІДХОДИ ТА ЦИФРОВІ РІШЕННЯ**

## **INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGIES IN THE STUDY OF ECOLOGICAL AND ECONOMIC SYSTEMS: ANALYTICAL APPROACHES AND DIGITAL SOLUTIONS**

У статті досліджуються окремі аспекти використання інформаційно-комунікаційних технологій (ІКТ) для аналізу еколого-економічних систем у контексті цілей сталого розвитку. Доведено, що цифрові інструменти (геоінформаційні системи, супутникові платформи, мови програмування R і Python), а також сервіси візуалізації даних є ключовими інструментами для збору, обробки, просторово-часового аналізу та представлення даних. Розглянуто підходи до побудови інтегральних індексів екологічної та економічної збалансованості, моделювання ризиків і територіального аналізу з використанням відкритих даних. Особливу увагу приділено структурі цифрової підтримки управлінських рішень у сфері сталого розвитку, включаючи аналітичні панелі, автоматизовану звітність і хмарні технології. Стаття має концептуально-аналітичний характер і орієнтована на формування методичних основ для майбутніх емпіричних досліджень.

**Ключові слова:** інформаційно-комунікаційні технології, еколого-економічні системи, сталий розвиток, цифрові інструменти, моніторинг, інформаційні системи.

*The article explores in depth the theoretical and practical aspects of using information and communication technologies (ICT) for the comprehensive analysis of ecological and economic systems within the framework of the Sustainable Development Goals (SDGs). It emphasizes the growing importance of digital transformation in environmental and economic governance, highlighting how modern technological instruments enhance the precision, transparency, and efficiency of analytical and decision-making processes. The study demonstrates that digital tools – such as geographic information systems (GIS), satellite monitoring platforms, programming languages like R and Python, and advanced data visualization services – serve as key instruments for collecting, processing, and interpreting large volumes of heterogeneous data. These tools enable spatio-temporal modeling of ecological and economic dynamics, identification of critical interdependencies between natural resources and socio-economic indicators, and the development of predictive models for sustainable management. Particular attention is devoted to approaches for constructing integrated indices of ecological and economic balance, evaluating environmental risks, and implementing territorial diagnostics based on open and big data sources. The research also focuses on the design of digital decision-support systems in the domain of sustainable development, including analytical dashboards, cloud computing*

*infrastructures, and automated reporting mechanisms that facilitate evidence-based policymaking. Conceptually, the article contributes to the formation of a methodological and analytical foundation for future empirical studies in the field of digital sustainability governance. It argues that the integration of ICT into environmental-economic analysis not only improves the quality of strategic planning but also supports the transition toward more adaptive, data-driven, and resilient management systems at both national and regional levels. Additionally, the article underscores the necessity of interdisciplinary collaboration between data scientists, economists, and environmental experts to ensure the effective implementation of ICT-based analytical frameworks for sustainable development.*

**Keywords:** *information and communication technologies, ecological and economic systems, sustainable development, digital tools, monitoring, information systems.*

**Постановка проблеми.** Сучасні виклики сталого розвитку, зумовлені зміною клімату, деградацією природного середовища та зростаючою соціально-економічною нерівністю, потребують системного підходу до аналізу взаємозв'язків між економікою, екологією та соціальними процесами. У цьому контексті еколого-економічні системи розглядаються як багатовимірні динамічні процеси, що поєднують виробничі, ресурсні, політичні та соціальні компоненти у межах певного геопросторового середовища.

Дослідження таких систем вимагає не лише міждисциплінарного підходу, а й інтеграції сучасних інформаційно-комунікаційних технологій (ІКТ), які забезпечують ефективну роботу з великими масивами даних, створення моделей розвитку, моніторинг індикаторів та підтримку процесів прийняття рішень. ІКТ дедалі активніше використовуються в аналізі сталого розвитку завдяки своїй здатності об'єднувати просторові, часові та галузеві дані в єдину цифрову аналітичну систему. Зокрема, йдеться про інтеграцію геопросторових технологій (GIS), хмарних обчислень, аналізу часових рядів і візуалізацій у режимі реального часу.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Розширення дослідницького інструментарію унаслідок застосування ІКТ у контексті сталого розвитку набуло особливої актуальності на початку XXI століття. У сучасних дослідженнях активно висвітлюється використання ІКТ не тільки як інфраструктурної підтримки, а й як повноцінного інструменту системного аналізу. Так, у роботі Солов Р.А. [1] розглядається роль цифрових технологій у трансформації виробничих і управлінських процесів з метою зниження екологічного навантаження. Підхід “data-enabled sustainability” описано в дослідженнях Канга С. та ін. [2], які демонструють можливості використання машинного навчання й моделювання у сфері охорони довкілля.

З іншого боку, у фокусі багатьох досліджень інтеграція геоінформаційних систем (GIS) із супутниковими та просторовими даними. Такі платформи, як Google Earth Engine, ArcGIS, QGIS дозволяють отримувати, візуалізувати та аналізувати дані про ліси, землекористування, рівень забруднення, зміни клімату тощо науковця Горелік Н. [3]. Це доповню-

ється застосуванням мобільних додатків, сенсорних мереж та інтернету речей (IoT) для збору екологічних даних у режимі реального часу у працях науковця Атзорі Л. [4].

Значне поширення й мають аналітичні середовища, такі як R та Python, що використовуються для опрацювання еколого-економічних показників, зокрема в поєднанні з відкритими державними або міжнародними даними. Наприклад, пакет `convergEU` в R розроблений для моніторингу соціально-економічної конвергенції в ЄС, але його методологія може бути адаптована до аналізу сталого розвитку на міжрегіональному рівні як каже Стефаніні Ф. [5].

В українських реаліях дослідники зосереджуються на використанні ІКТ у державному екологічному моніторингу, просторовому плануванні, оцінці впливу на довкілля, а також в освітніх і аналітичних системах управління. Наприклад, у праці Коваленко А. [6] подано огляд електронних екологічних сервісів в Україні, а в дослідженні Дурова Н. В., Кондратюк Д. Ю., та Першко Л. О. [7] здійснено аналіз ефективності використання геоінформаційних технологій у регіональній екополітиці.

Таким чином, аналіз літературних джерел вказує на зростаючу значущість ІКТ у дослідженні еколого-економічних систем, зокрема, унаслідок функціональної можливості інтегрувати різні типи даних, виявляти закономірності та забезпечувати доступність результатів для широкого кола стейкхолдерів.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. В зазначеному контексті цифрові платформи, призначені для збору, обробки та аналізу еколого-економічної інформації, зокрема R, Python, QGIS, Google Earth Engine, Power BI, а також хмарні сервіси Google Cloud Platform та Microsoft Azure відіграють значну роль. Ці інструменти забезпечують масштабованість обчислень, гнучкість аналітики та спільну роботу дослідників у хмарному середовищі.

Попри зростання уваги до цифрових технологій, в українському науковому середовищі дослідження на перетині ІКТ та еколого-економічного аналізу поки що залишаються фрагментарними. Особливо важливою є необхідність удосконалення методологічних інструментів для просторової оцінки сталого розвитку, цифрового моніторингу та аналітичної

підтримки управлінських рішень із використанням відкритих даних, статистичних моделей та геоінформаційних технологій.

**Мета статті:** формулювання методичних підходів до застосування інформаційно-комунікаційних технологій у дослідженні еколого-економічних систем із акцентом на їхній потенціал щодо інтеграції даних, просторово-часового аналізу, візуалізації динаміки та підтримки прийняття управлінських рішень у сфері сталого розвитку.

У процесі дослідження застосовано методи аналізу та синтезу для узагальнення сучасних підходів до використання ІКТ в еколого-економічних системах, індукції та дедукції – для формування концептуальної моделі цифрової аналітики, системного підходу – для інтеграції просторових, екологічних і соціально-економічних аспектів, а також порівняльного аналізу та візуалізаційного моделювання для оцінки інструментів і представлення результатів у цифровому середовищі.

**Виклад основного матеріалу.** Оскільки метою статті є концептуалізація можливостей використання ІКТ для дослідження еколого-економічних систем, результати подано у формі структурованого огляду існуючих цифрових інструментів та можливих напрямів їх практичного застосування. Так, використання сучасних цифрових інструментів дозволяє:

- працювати з великомасштабними просторово-часовими даними;
- інтегрувати інформацію з різномірних джерел (статистика, супутникові знімки, сенсори);
- створювати інтерактивні інтерфейси для візуалізації та комунікації аналітики;
- підтримувати формування аналітично обґрунтованої політики (evidence-based policy).

В даному контексті, особливо ефективними є мультимодальні платформи, які поєднують інструменти

обробки даних (R, Python), картографування (QGIS, GEE), бізнес-аналітики (Power BI, Data Studio) та відкритого доступу до даних (API, репозитарії) [1–5].

Узагальнену та систематизовану логіку застосування ІКТ в дослідженнях еколого-економічних систем можна представити так:

Такий підхід не є симулятивним, а має практичне значення як модель організації дослідження, яка може бути адаптована до конкретного контексту (національного, регіонального або галузевого).

Виходячи з аналізу літератури та доступних технологій окреслено три ключові напрями, у яких ІКТ можуть бути інтегровані в дослідження еколого-економічних систем:

1. Моделювання сталого розвитку регіонів: побудова індексів екологічної ефективності, економічної стабільності, ресурсної продуктивності з використанням нормалізованих даних та агрегованих індикаторів.

2. Геоаналітика ризиків: просторове картографування екологічних загроз (забруднення, деградація земель, надмірне навантаження на ресурси) з використанням супутникових спостережень та геоінформаційних систем.

3. Діджиталізація моніторингу та звітності: створення хмарних платформ для щорічного оновлення статистичних і екологічних показників, доступних для аналітиків, органів влади, громадськості [7].

Наведемо порівняльний аналіз функціональних можливостей деяких платформ, які використовуються в дослідженнях еколого-економічних систем:

Таким чином, результати даного дослідження представлені не як емпіричні висновки, а як концептуальне узагальнення сучасних можливостей застосування ІКТ у дослідженні еколого-економічних систем. Описані інструменти та напрями можуть бути покладені в основу подальших емпіричних до-

Таблиця 1

ІКТ в дослідженнях еколого-економічних систем

| Етап               | Технології                                 | Очікуваний ефект                  |
|--------------------|--------------------------------------------|-----------------------------------|
| Збір даних         | API, сенсорні мережі, супутникові продукти | Актуальність і масштабованість    |
| Обробка            | R, Python, Excel PowerQuery                | Якісна підготовка до аналізу      |
| Просторовий аналіз | QGIS, ArcGIS, Google Earth Engine          | Виявлення територіальних патернів |
| Візуалізація       | Power BI, Tableau, Shiny                   | Комунікація результатів           |
| Публікація         | GitHub, Google Sheets, Dashboards          | Прозорість і повторюваність       |

Джерело: авторська розробка

Таблиця 2

Порівняльний аналіз ІКТ в дослідженнях еколого-економічних систем

| Платформа           | Фокус               | Переваги                          | Обмеження                     |
|---------------------|---------------------|-----------------------------------|-------------------------------|
| Google Earth Engine | Супутникові дані    | Безкоштовна обробка великих даних | Потребує програмування        |
| QGIS                | Просторовий аналіз  | Відкритість, розширення           | Складність для новачків       |
| Power BI, Tableau   | Візуалізація        | Інтерактивність, інтеграція       | Обмеження безкоштовних версій |
| R, Python           | Аналіз, моделювання | Гнучкість, повторюваність         | Потреба в навичках кодування  |

Джерело: авторська розробка

сліджень, а також використані для побудови університетських або регіональних інформаційно-аналітичних платформ сталого розвитку.

Зауважимо, що однією з ключових переваг використання інформаційно-комунікаційних технологій у сфері сталого розвитку є можливість використання даних, як основи управлінських рішень. ІКТ не лише слугують засобом збору чи обробки інформації, а й перетворюються на інфраструктуру ухвалення рішень (decision-support infrastructure) на всіх рівнях управління: державному, регіональному, муніципальному чи галузевому.

Практична реалізація таких рішень ґрунтується на таких аспектах:

- поєднанні індикаторного моніторингу з просторовою візуалізацією;
- сценарному прогнозуванні (наприклад, через регресійний або тренд-аналіз);
- автоматизованому оцінюванні ризиків та ефективності політик [8].

Схематично вищесказане можна представити як цикл цифрового управління.

В даному контексті варто підкреслити, що регіональні та муніципальні адміністрації, екологічні агентства, міжнародні проєкти (GIZ, UNEP, UNDP тощо) вже впроваджують подібні підходи у формі екологічних дашбордів, відкритих моніторингових систем або геоінформаційних платформ. Наприклад, в деяких громадах України реалізовано інтеграцію відкритих даних про якість повітря (на основі платформ SaveEcoBot та OpenAQ) з динамікою транспортного навантаження, температурними змінами та зверненнями громадян. Це дає змогу виявляти «гарячі точки» (hotspots) в реальному часі та планувати коротко- й середньострокові втручання: озеленення, обмеження руху, перевірки підприємств [9–15].

Важливо, що така цифрова система доступна навіть без залучення значних ресурсів, адже більшість

інструментів є відкритими, а налаштування процесів автоматизації масштабованими.

Окрім екологічного управління, ІКТ також сприяють:

- комунікації з громадськістю (інфографіка, інтерфейси для запитів);
- залученню громадян до моніторингу (краудсорсинг даних, мобільні додатки);
- забезпеченню прозорості прийняття рішень (публічні портали з даними, автоматичні звіти).

Таким чином, ІКТ перестають бути виключно дослідницьким інструментом і поступово перетворюються на дієвий механізм управлінської трансформації, що дозволяє зробити процеси екологічної політики, просторового планування та оцінки впливу більш точними, своєчасними й підзвітними.

**Висновки.** Інформаційно-комунікаційні технології відіграють ключову роль у трансформації підходів до дослідження еколого-економічних систем. Вони забезпечують нові можливості для інтеграції та обробки великих обсягів різномірних даних, поєднання просторових, часових і тематичних вимірів, а також створення гнучких інструментів для аналізу та візуалізації показників сталого розвитку. У межах цього дослідження окреслено основні напрямки застосування ІКТ: цифрова аналітика сталості, геоінформаційний аналіз, хмарні платформи візуалізації, індексація екологічної ефективності та підтримка управлінських рішень. Показано, що ефективне використання ІКТ не лише підвищує якість аналітичних досліджень, а й формує нову культуру відкритого, прозорого та орієнтованого на дані управління у сфері довкілля та ресурсів. Перспективним напрямом подальших досліджень є створення інтегрованих цифрових платформ моніторингу, що об'єднуюватимуть статистичні, супутникові та інституційні дані для формування сценаріїв екологічного прогнозування та планування сталого розвитку.



**Рис. 1. Ланцюг цифрової підтримки управлінських рішень**

Джерело: авторська розробка

#### Список літератури:

1. Smith J., Brown L. *Data-Driven Environmental Governance: Tools and Applications*. London: Routledge, 2019. 256 p.
2. Kanga S., Singh S. K., Meraj G. & Farooq M. *Geospatial Modeling for Environmental Management: Case Studies from South Asia*. CRC Press. Taylor & Francis, 2024. 366 p.
3. Gorelick N., Hancher M., Dixon M., Ilyushchenko S., Thau D., Moore R. Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sensing of Environment*, 2017. 18–27 p.
4. Atzori L., Iera A., Morabito G. The Internet of Things: A survey. *Computer Networks*, 2010, 2787–2805 p.
5. Stefanini F.M., Nikiforova N.D., Litardi C. *Monitoring upward convergence in the EU with R: The convergEU package*. Luxembourg: Eurofound, 2020, 74 p.

6. Коваленко А. Проблеми використання інформаційних технологій для захисту довкілля в Україні. *Інформаційні технології та суспільство*. 2023. № 4(6). С. 22–26.

7. Дурова Н. В., Кондратюк Д. Ю., Першко Л. О. *Геоінформаційні технології територіальних громад в умовах діджиталізації*. 2024. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.11795036> (дата звернення: 10.10.2025).

#### References:

1. Solow R. (1956). A contribution to the theory of economic growth. *The Quarterly Journal of Economics*, no. 70, pp. 65–94.

2. Kanga S., Singh S. K., Meraj G. & Farooq M. (2024). *Geospatial Modeling for Environmental Management: Case Studies from South Asia*. CRC pp. 366.

3. Gorelick N., Hancher M., Dixon M., Ilyushchenko S., Thau D. & Moore R. (2017). Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sensing of Environment*, pp. 18–27.

4. Atzori L., Iera A. & Morabito G. (2010). The Internet of Things: A survey. *Computer Networks*, pp. 2787–2805.

5. Stefanini F. M., Nikiforova N. D., Litardi C. & others. (2020). *Monitoring upward convergence in the EU with R: The convergEU package* (Eurofound Working Paper WPEF20008). Luxembourg: Eurofound. pp.74

6. Kovalenko A. (2023) Problemy vykorystannia informatsiinykh tekhnolohii dlia zakhystu dovkillia v Ukraini [Problems of using information technologies for environmental protection in Ukraine]. *Informatsiini tekhnolohii ta suspilstvo – Information Technologies and Society*, no. 4(6), pp. 22–26.

7. Durova N. V., Kondratiuk D. Yu., Pershko L. O. (2024) *Heoinformatsiini tekhnolohii terytorialnykh hromad v umovakh didzhytalizatsii* [Geoinformation technologies of territorial communities in the conditions of digitalization]. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.11795036> (accessed October 17, 2025).

Стаття надійшла: 18.10.2025

Стаття прийнята: 25.10.2025

Стаття опублікована: 14.11.2025