
НАУКИ ПРО ЗЕМЛЮ. ГЕОІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ МОДЕЛЮВАННЯ СТАНУ ГЕОСИСТЕМ

УДК 528.9

<http://dx.doi.org/10.31548/zemleustriy2025.04.08>

АЛГОРИТМ ВИКОРИСТАННЯ ГЕОІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ З МЕТОЮ ГЕОЕКОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ ТЕРИТОРІАЛЬНИХ ГРОМАД

А. О. КОШЕЛЬ,

доктор економічних наук, доцент

E-mail: koshel_a@nubip.edu.ua

професор кафедри геоінформатики і аерокосмічних досліджень Землі

Б. І. ДЕНИСЮК,

*старший викладач кафедри геоінформатики і аерокосмічних
досліджень Землі*

E-mail: denysiuk_b@nubip.edu.ua

А. М. ПОЛТАВЕЦЬ,

доктор економічних наук,

доцент кафедри геоінформатики і аерокосмічних досліджень Землі

E-mail: anatoliy.poltavets@nubip.edu.ua

Національний університет біоресурсів і природокористування України

Анотація. У статті розглядається роль та можливості сучасних геоінформаційних технологій у процесі геоєкологічного моніторингу територіальних громад. Зростання антропогенного навантаження, зміни клімату та активне освоєння земельних ресурсів зумовлюють необхідність упровадження інноваційних інструментів для своєчасного виявлення, аналізу та прогнозування стану довкілля. Геоінформаційні системи забезпечують інтеграцію різномісцевих просторових даних, їх моделювання та оперативну візуалізацію, що дає змогу органам місцевого самоврядування приймати науково обґрунтовані управлінські рішення щодо використання природних ресурсів, планування територій та екологічної безпеки на місцевому рівні.

У межах дослідження проаналізовано основні функціональні можливості геоінформаційних систем, зокрема просторовий аналіз, геостатистику, моделювання ризиків і сценарне прогнозування. Особливу увагу приділено використанню

дистанційного зондування Землі для оцінювання динаміки природних процесів, таких як деградація ґрунтів, зміна рослинного покриву, водний баланс і виявлення забруднень. Наведено приклади застосування комплексних геоінформаційних рішень у громадах для моніторингу стану земель, аналізу екологічної стійкості та контролю за дотриманням природоохоронних норм.

Результати дослідження доводять, що впровадження геоінформаційних технологій у систему геоєкологічного моніторингу є ключовою умовою підвищення ефективності управління природними ресурсами на рівні територіальних громад. Використання інтегрованих геопросторових даних дозволяє підвищити точність оцінювання екологічних загроз та формувати обґрунтовані стратегії сталого розвитку. Таким чином, геоінформаційні системи виступають основою для створення сучасних моніторингових систем, що відповідають вимогам адаптивного управління у сфері довкілля.

Ключові слова: геоінформаційні системи, геоєкологічний моніторинг, територіальна громада, управління земельними ресурсами, землеустрій, раціональне використання земель.

Актуальність

Сучасний стрімкий розвиток інформаційних технологій загалом та штучного інтелекту зокрема зумовлює структурні зміни в багатьох галузях і напрямках. В цьому контексті, актуальність використання геоінформаційних технологій у геоєкологічному моніторингу територіальних громад зумовлена комплексом сучасних екологічних, соціально-економічних та управлінських викликів. В умовах воєнного стану, постійного зростання антропогенного тиску, інтенсифікації господарської діяльності та змін клімату постає необхідність створення системи оперативного, достовірного та науково обґрунтованого контролю за станом довкілля на локальному рівні з використанням сучасних геоінформаційних систем і технологій. Об'єднані територіальні громади як базова ланка управління земельними ресурсами потребують точних і ефективних інструментів для виявлення негативних екологічних процесів,

оцінювання їх наслідків та планування сталого розвитку.

Геоінформаційні системи забезпечують інтеграцію різномірних просторових даних, поєднуючи результати дистанційного зондування Землі, польових досліджень та статистичних спостережень. Це дозволяє отримувати комплексну картину стану земельних, водних та біотичних ресурсів, відстежувати їхню динаміку та прогнозувати можливі загрози. У сучасних умовах, коли екологічні процеси розвиваються швидко й нерідко мають локалізований характер, геоінформаційні технології стають незамінним інструментом для своєчасного прийняття управлінських рішень.

Не менш важливою є здатність геоінформаційних систем підтримувати прозорість і відкритість екологічної інформації, що сприяє підвищенню екологічної відповідальності населення та залученню громадськості до контролю за станом довкілля.

Таким чином, дослідження напрямів використання геоінформаційних технологій у геоекологічному моніторингу територіальних громад є надзвичайно актуальним, оскільки відповідає сучасним потребам цифрової трансформації, забезпечує основу для ефективного природокористування та формує надійний інструментарій для адаптації громад до екологічних ризиків.

Аналіз останніх наукових досліджень та публікацій

Дурова, Н. В., Кондратюк, Д. Ю. та Першко, Л. О. досліджуючи питання використання геоінформаційних технологій територіальних громад в умовах діджиталізації прийшли до висновку, що впровадження геоінформаційних технологій у територіальних громадах є складним завданням, яке передбачає вирішення безлічі технічних, економічних, соціальних, організаційних та правових проблем, а вирішення цих проблем вимагає комплексного підходу, який включає інвестування в інфраструктуру та навчання, залучення зацікавлених сторін, розробку стандартизованих протоколів та дотримання нормативно-правової бази [1].

Дослідниці Ясінецька І. та Мушенік І. у своїй праці [2] зазначають, «що сьогодні ГІС виступають незамінним засобом дослідження задач, пов'язаних з просторово-розподіленою інформацією, включаючи введення і збереження вихідної інформації, ефективну обробку просторових даних, візуальний і геостатистичний аналіз, а також підготовку різного роду вихідних картографічних й інших документів». А «технології дистанційного зондування земель нада-

ють великий спектр можливостей для сільськогосподарського землекористування, таких як: ідентифікація та облік площ посівів; прогноз урожайності агрокультур; оцінка стану посівів агрокультур; визначення площ посівів; визначення ділянок, що потребують внесення добрив та агрохімікатів; контроль сівозмін та якості проведення агротехнічних заходів; визначення площ вимерзання агрокультур; площ пасовищ; аналіз результатів субсидіювання; оцінка снігового покриву, вологості; визначення уражених ділянок та багато іншого».

Таким чином, більшість вчених торкаються питань пов'язаних з використанням геоінформаційних систем в процесах управління земельними ресурсами громад і сільському господарстві, проте дослідження проблем щодо їх застосування при геоекологічному моніторингу територіальних громад є досить новим і малодослідженим.

Метою дослідження є наукове обґрунтування процесу використання геоінформаційних технологій при геоекологічному моніторингу територіальних громад.

Матеріали і методи наукового дослідження

Методологічною основою дослідження було застосування інструментів геоінформаційних систем для інтеграції, зберігання, аналізу та візуалізації просторових даних. Оброблення даних здійснювалося в середовищах сучасних геоінформаційних технологій що забезпечило можливість поєднання традиційних геоінформаційних методів із сучасними алгоритмами обчислювальної географії.

Було використано порівняльний аналіз для формування класифікації геоекологічного моніторингу територіальних громад; системний аналіз для визначення взаємозв'язків між природними, антропогенними та управлінськими чинниками; монографічний метод – для узагальнення теоретичних підходів та оцінки стану наукових розробок; методи структурно-логічного моделювання – при розробленні алгоритму геоекологічного моніторингу.

Застосований інструментарій забезпечив комплексний та багаторівневий підхід до оцінювання екологічного стану територіальних громад, дозволивши виявити просторові закономірності потенційних загроз та визначити напрями оптимізації системи моніторингу.

Результати дослідження та їх обговорення

Геоекологічний моніторинг територіальних громад – це комплексна система спостережень, оцінки та прогнозування стану природного середовища на місцевому рівні для виявлення негативних змін та розробки управлінських рішень. Він включає моніторинг повітря, води, ґрунтів, відходів та природних процесів, використовуючи як традиційні, так і сучасні технології, такі як ГІС та супутникові дані. Метою є забезпечення сталого розвитку, екологічної безпеки та прозорості в управлінні громадою.

Загалом геоекологічний моніторинг можна класифікувати за різними чинниками: за об'єктом спостереження, за методами, за характером впливу, за цільовим призначенням, а також за частотою його проведення (рис. 1).

Провівши аналіз дефініцій моніторингу серед сучасних вчених дослідників, можна відмітити, наукову працю Канівець О.М., яка дає визначення моніторингу використання земель територіальних громад як «використання земель об'єднаних територіальних громад, де основна увага фокусується на формуванні просторового, містобудівного, екологічного й соціально-економічного забезпечення на основі створення кількісної основи інтегральної оцінки, математичного моделювання, застосуванні геоінформаційного інструментарію для виявлення диспропорцій у системі земельних відносин та встановлення перспектив їх розвитку» [3].

ГІС-технології та дистанційне зондування є ефективними інструментами для моніторингу змін землекористування, дозволяючи здійснювати детальний просторовий аналіз та прогнозування. Використання супутникових знімків у поєднанні з ГІС дозволяє оперативне ідентифікування розширення урбанізованих зон, змін рослинного покриву та деградації ґрунтів. Машинне навчання та алгоритми глибокого навчання значно підвищують точність аналізу змін землекористування, забезпечуючи автоматизовану класифікацію територій. ДЗЗ-методи у поєднанні з геопросторовим аналізом є перспективними для оптимізації управління земельними ресурсами в умовах урбанізації та кліматичних змін. Удосконалення методів інтеграції ГІС-даних із даними ДЗЗ для підвищення точності аналізу змін землекористування. Дослідження можливостей використання дронів для підвищення деталізації картографічних даних. Впровадження моделей машинного навчання для прогнозування змін те-



Рис. 1. Класифікація геоecологічного моніторингу територіальних громад

риторій із врахуванням соціально-економічних факторів. Розробка інтерактивних ГІС-платформ для моніторингу землекористування у режимі реального часу [4].

За результатами аналізу наукових праць дослідників та функціональних можливостей геоінформаційних систем, зокрема просторового аналізу, геостатистики, моделювання ризиків, сценарного прогнозування, використання дистанційного зондування Землі для оцінювання динаміки природних процесів було розроблено алгоритм геоecологічного моніторингу територіальних громад (рис. 2)

На рис. 2 в схемі алгоритму блоки розділені на три категорії, де блоки овальної форми показують початок і кінець процесу виконання алгоритму, блоки ромбічної форми показують ключові функціональні етапи, а прямокутні блоки показують дії щодо введення-виведення та візуалізації геопросторових даних щодо геоecологічного моніторингу.

Таким чином, алгоритм геоecологічного моніторингу територіальних громад з широким застосуванням ге-

оінформаційних систем і технологій включає:

Формування цілей та завдань моніторингу

- визначення типу моніторингу (у відповідності до класифікації рис.1);
- встановлення об'єктів спостереження (повітря, ґрунти, лісові та водні ресурси, рослинний покрив, ландшафти, тощо);
- узгодження критеріїв оцінки стану довкілля та індикаторів впливів.

Збір вхідних просторових та атрибутивних даних

- дані дистанційного зондування (супутникові знімки, аерофото, БПЛА);
- топографічні та кадастрові шари;
- дані пунктів спостережень (станції контролю якості повітря, води, ґрунтів);
- соціально-економічні та статистичні дані територіальної громади;
- геофізичні, кліматичні та санітарно-гігієнічні показники.

Попередня підготовка та стандартизація даних

- геоприв'язка та трансформація координат;
- створення єдиної структури геобаз даних;
- очищення даних від похибок, дублювань, тощо;
- нормалізація атрибутивних таблиць.

Інтеграція даних у ГІС-середовище

- завантаження всіх шарів у ГІС (ArcGIS, QGIS, GeoServer);
- побудова базових карт: рельєфу, землекористування, гідромережі, дорожньої інфраструктури, джерел забруднень;
- накладання динамічних і тематичних шарів моніторингу.

Просторовий аналіз та моделювання

- буферний аналіз для визначення зон впливу промислових об'єктів, транспортних коридорів, тощо;
- перехресний аналіз шарів для оцінки екологічного ризику;
- інтерполяція (IDW, Kriging) для створення поверхонь забруднення;
- моделювання потоків води та ерозійної чутливості;
- розрахунок індексів для оцінки стану рослинності та земель;
- виявлення змін на основі часових рядів.

Візуалізація результатів у ГІС

- створення тематичних карт: карти забруднення атмосфери, карти теплових островів, карти стану водних екосистем, карти деградації ґрунтів, карти природних ризиків (зсуви, паводки), карти сукупного екологічного навантаження;
- генерація 3D-моделей та аналітичних профілів;



Рис. 2. Алгоритм геоекологічного моніторингу територіальних громад на основі застосування геоінформаційних технологій

- формування інтерактивних веб-карт для громади (через ArcGIS Online, Leaflet, GeoNode).

Формування звітів і рекомендацій

- узагальнення просторових і статистичних результатів.
- підготовка аналітичних висновків щодо екологічного стану території.
- розробка рекомендацій (попередження забруднень та теплових аномалій, оптимізація землекористування, рекультивація земель, екологічний менеджмент).

Висновки і перспективи

Проведене дослідження підтверджує, що геоінформаційні технології є ключовим інструментом забезпечення ефективного геоекологічного моніторингу територіальних громад. Завдяки інтеграції різнотипних просторових даних, застосуванню інструментів просторового аналізу, геостатистики, дистанційного зондування Землі та методів машинного навчання, ГІС-технології забезпечують високий рівень точності, оперативності та обґрунтованості екологічної оцінки територій.

Отримані результати доводять, що використання ГІС у поєднанні з даними супутникових та аерозйомок створює можливості для комплексного відстеження динаміки природних процесів - деградації ґрунтів, зміни рослинного покриву, урбанізаційного тиску, формування екологічних ризиків. Це, у свою чергу, дає змогу громадам своєчасно реагувати на екологічні загрози, підвищувати ефективність управління земельними та природними ресурсами, забезпечувати прозорість прийняття управлінських рішень та формувати стратегії сталого розвитку.

Дослідження також засвідчує, що актуальною є подальша модернізація геоекологічних моніторингових систем шляхом впровадження автоматизованих класифікаторів, інтегрованих веб-ГІС-платформ, використання БПЛА для підвищення деталізації просторових даних та розроблення прогностичних моделей на основі штучного інтелекту. Розвиток таких інструментів сприятиме формуванню комплексної адаптивної системи управління довкіллям, здатної забезпечити екологічну безпеку та стійкість територіальних громад в умовах сучасних викликів.

Таким чином, геоінформаційні технології не лише підсилюють аналітичні можливості геоекологічного моніторингу, але й створюють надійну основу для сталого природокористування, екологічно відповідного планування та підвищення якості управління територіями на місцевому рівні.

Список використаної літератури

1. Дурова Н. В., Першко Л. О. Геоінформаційні технології територіальних громад в умовах діджиталізації // Академічні візії. 2024. Вип. 32. С. 1–14.
2. Ясінецька І., Мушеник І. Використання геоінформаційних систем і систем дистанційного зондування для потреб земельного кадастру, землеустрою та управління земельними ресурсами // Природничі науки. 2021. Т. 2. С. 55–66.
3. Канівець О. М. Формування моніторингу використання земель об'єднаних територіальних громад : дис. ... д-ра філософії : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2023.
4. Браславська О. ГІС-технології та дистанційне зондування у моніторингу змін землекористування // Містобудування та територіальне планування. 2025.

- Вип. 89. С. 472–487. DOI: <https://doi.org/10.32347/2076-815x.2025.89.472-487>.
5. Bricker, S., Jelenek, J., van der Keur, P., et al. (2024). Geoscience for Cities: Delivering Europe's Sustainable Urban Future. *Sustainability*, 16, 2559. DOI: <https://doi.org/10.3390/su16062559>.
 6. Hölscher, K., Frantzeskaki, N., Collier, M.J., et al. (2023). Strategies for mainstreaming nature-based solutions in urban planning in the European cities. *Urban Sustainability*, 3 (54). DOI: <https://doi.org/10.1038/s42949-023-00134-9>.
 7. Kovalchuk, I., Ivanov, Y., & Pylypovych, O. (2024, October). Geoecological Analysis of the Urban System: Structure, Algorithms, Principles of Monitoring. In International Conference of Young Professionals «Geo-Terrace-2024» (Vol. 2024, No. 1, pp. 1-5). European Association of Geoscientists & Engineers.
 8. Koroso, N., & Zevenbergen J. (2024). Urban land management under rapid urbanization: Exploring the link between urban land policies and urban land use efficiency in Ethiopia. *Cities*, 153, 105269. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cities.2024.105269>
 9. Azimov, O. T., Shevchuk, O. V., & Azimova, K. O. (2020). Geoinformation systems in the investigations of the environment pollution drivers within the catchment areas of landfills: current state and trends. *Geoinformatics (Ukraine)*, 2(74), 69-88.
 10. Tsatsaris, A., Kalogeropoulos, K., Stathopoulos, N., Louka, P., Tsanakas, K., Tselmelis, D. E., ... & Chalkias, C. (2021). Geoinformation technologies in support of environmental hazards monitoring under climate change: An extensive review. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 10(2), 94.
-
- ### References
1. Durova, N. V., & Pershko, L. O. (2024). Heoinformatsiini tekhnologii terytorialnykh hromad v umovakh didzhitalizatsii [Geoinformation technologies of territorial communities in the context of digitalization]. *Akademichni vizii*, (32), 1–14.
 2. Yasinecka, I., & Mushenyk, I. (2021). Vykorystannia heoinformatsiinykh system i system dystantsiinoho zonduvannia dlia potreb zemelnoho kadastru, zemleustroiui ta upravlinnia zemelnymy resursamy [Use of geoinformation systems and remote sensing systems for land cadastre, land management, and land resources administration]. *Pryrodnychi nauky*, 2, 55–66.
 3. Kanivets, O. M. (2023). Formuvannia monitorynhu vykorystannia zemel obiednanykh terytorialnykh hromad [Formation of monitoring of land use in united territorial communities] (Doctoral dissertation, KhNUMG im. O. M. Beketova).
 4. Braslavska, O. (2025). HIS-tekhnologii ta dystantsiine zonduvannia u monitorynhu zmin zemlekorystuvannia [GIS technologies and remote sensing in monitoring land use changes]. *Mistobuduvannia ta terytorialne planuvannia*, (89), 472–487. DOI: <https://doi.org/10.32347/2076-815x.2025.89.472-487>
 5. Bricker, S., Jelenek, J., van der Keur, P., et al. (2024). Geoscience for Cities: Delivering Europe's Sustainable Urban Future. *Sustainability*, 16, 2559. DOI: <https://doi.org/10.3390/su16062559>.
 6. Hölscher, K., Frantzeskaki, N., Collier, M.J., et al. (2023). Strategies for mainstreaming nature-based solutions in urban planning in the European cities. *Urban Sustainability*, 3 (54). DOI: <https://doi.org/10.1038/s42949-023-00134-9>.
 7. Kovalchuk, I., Ivanov, Y., & Pylypovych, O. (2024, October). Geoecological Analysis of the Urban System: Structure, Algorithms, Principles of Monitoring. In International Conference of Young Professionals «Geo-Terrace-2024» (Vol. 2024, No. 1, pp. 1-5). European Association of Geoscientists & Engineers.
 8. Koroso, N., & Zevenbergen J. (2024). Urban

- land management under rapid urbanization: Exploring the link between urban land policies and urban land use efficiency in Ethiopia. *Cities*, 153, 105269. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cities.2024.105269>
9. Azimov, O. T., Shevchuk, O. V., & Azimova, K. O. (2020). Geoinformation systems in the investigations of the environment pollution drivers within the catchment areas of landfills: current state and trends. *Geoinformatics (Ukraine)*, 2(74), 69-88.
10. Tsatsaris, A., Kalogeropoulos, K., Stathopoulos, N., Louka, P., Tsanakas, K., Tsesmelis, D. E., ... & Chalkias, C. (2021). Geoinformation technologies in support of environmental hazards monitoring under climate change: An extensive review. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 10(2), 94.

Koshel A. O., Denysiuk B. I., Poltavets A. M.

ALGORITHM FOR THE USE OF GEOINFORMATION TECHNOLOGIES FOR THE PURPOSE OF GEOECOLOGICAL MONITORING OF TERRITORIAL COMMUNITIES LAND MANAGEMENT, CADASTRE AND LAND MONITORING 4'25: 108-116.

<http://dx.doi.org/10.31548/zemleustriy2025.04.08>

Abstract. *The article discusses the role and capabilities of modern geoinformation technologies in the process of geo-ecological monitoring of territorial communities. The growth of anthropogenic pressure, climate change and active development of land resources necessitate the introduction of innovative tools for timely detection, analysis and forecasting of the state of the environment. Geoinformation systems ensure the integration of different types of spatial data, their modelling and rapid visualisation, which enables local authorities to make scientifically sound management decisions on the use of natural resources, spatial planning and environmental safety at the local level.*

The study analyses the main functional capabilities of geographic information systems, in particular spatial analysis, geostatistics, risk modelling and scenario forecasting. Particular attention is paid to the use of remote sensing of the Earth to assess the dynamics of natural processes such as soil degradation, changes in vegetation cover, water balance and pollution detection. Examples are given of the application of integrated geoinformation solutions in communities for monitoring land conditions, analysing environmental sustainability and monitoring compliance with environmental protection standards.

The results of the study prove that the introduction of geoinformation technologies into the geo-ecological monitoring system is a key condition for improving the efficiency of natural resource management at the level of local communities. The use of integrated geospatial data allows for more accurate assessment of environmental threats and the development of sound sustainable development strategies. Thus, geoinformation systems serve as the basis for the creation of modern monitoring systems that meet the requirements of adaptive management in the environmental sphere.

Keywords: *geoinformation systems, geo-ecological monitoring, amalgamated territorial community, land resource management, land use planning, rational land use.*