ЕКОЛОГІЧНИЙ МОНІТОРИНГ

УДК 502.3:504.06:504.4
DOI https://doi.org/10.32846/2306-9716/2026.eco.6-69.8

МОНІТОРИНГ ЕКОЛОГІЧНИХ ЗМІН В УМОВАХ ГЛОБАЛЬНОГО АНТРОПОГЕННОГО ВПЛИВУ: АНАЛІЗ КЛЮЧОВИХ ІНДИКАТОРІВ

Кагукіна А.М. (orcid.org/0000-0001-8932-1211),
Пацева І.Г. (orcid.org/0000-0001-6271-7355),
Герасимчук Л.О. (orcid.org/0000-0003-4716-0100),
Валерко Р.А. (orcid.org/0000-0002-3166-5588)
Державний університет «Житомирська політехніка»
вул. Чуднівська, 103, 10005, м. Житомир
ke_kham@ztu.edu.ua, rig@ztu.edu.ua, ek_glo@ztu.edu.ua, ke_vra@ztu.edu.ua

Стаття присвячена дослідженню сучасних підходів до моніторингу екологічних змін в умовах зростаючого антропогенного навантаження на довкілля. На основі аналізу бібліометричної карти ключових слів наукових публікацій виявлено основні тематичні кластери досліджень. Встановлено, що зазначені напрями досліджень тісно пов'язані між собою, оскільки зміни окремих компонентів довкілля можуть впливати на функціонування природних екосистем, стан біологічних ресурсів та умови життєдіяльності населення. Бібліометричний аналіз дає можливість визначити актуальні напрями сучасних наукових досліджень та простежити взаємозв'язки між основними поняттями і тематичними напрямами у сфері екологічного моніторингу. Провідними об'єктами екологічного моніторингу є ґрунтові забруднювачі, атмосферні полютанти, водні екосистеми та біота. Контроль за їхнім станом є важливою складовою системи спостережень за якістю навколишнього середовища, оскільки дозволяє своєчасно виявляти негативні зміни та оцінювати рівень антропогенного впливу на природні компоненти.

Особливого значення набуває дослідження динаміки забруднення різних компонентів довкілля та визначення можливих екологічних наслідків такого впливу. Окрему увагу приділено взаємозв'язку між екологічними чинниками та станом здоров'я населення, зокрема впливу забруднення повітря, такого як PM2.5, озон та аерозолі, на розвиток серцево-судинних і респіраторних захворювань. Забруднення атмосферного повітря залишається одним із важливих чинників, що може негативно впливати на організм людини та якість життя населення. У зв'язку з цим моніторинг концентрацій атмосферних полютантів та аналіз їхньої динаміки є необхідними для своєчасного виявлення потенційних екологічних і соціальних ризиків. Результати дослідження свідчать про необхідність інтеграції міждисциплінарних методів для комплексного оцінювання екологічної ситуації та розроблення ефективних природоохоронних заходів. *Ключові слова:* екологічний моніторинг, забруднення навколишнього середовища, зміна клімату, екосистема.

Monitoring environmental changes in the context of global anthropogenic impact: an analysis of key indicators. Kahukina A., Patseva I., Herasymchuk L., Valerko R.

This article examines contemporary approaches to monitoring environmental changes in the context of increasing anthropogenic pressure on the environment. An analysis of the bibliometric map of keywords in scientific publications has identified the main thematic clusters of research. It has been established that these research areas are closely interlinked, as changes in individual components of the environment can affect the functioning of natural ecosystems, the state of biological resources and the living conditions of the population. Bibliometric analysis makes it possible to identify current trends in modern scientific research and to trace the interrelationships between key concepts and thematic areas in the field of environmental monitoring. The main objects of environmental monitoring are soil contaminants, atmospheric pollutants, aquatic ecosystems and biota. Monitoring their condition is a vital component of the environmental quality observation system, as it enables the timely detection of adverse changes and the assessment of the extent of human impact on natural components.

Particular importance is attached to studying the dynamics of pollution in various environmental components and identifying the potential environmental consequences of such impacts. Particular attention is paid to the relationship between environmental factors and public health, specifically the impact of air pollution – such as PM2.5, ozone and aerosols – on the development of cardiovascular and respiratory diseases. Air pollution remains one of the key factors that can adversely affect human health and the population's quality of life. In this regard, monitoring the concentrations of atmospheric pollutants and analysing their trends are essential for the timely identification of potential environmental and social risks. The results of the study indicate the need to integrate interdisciplinary methods for a comprehensive assessment of the environmental situation and the development of effective environmental protection measures. *Key words:* environmental monitoring, environmental pollution, climate change, ecosystem.

© Кагукіна А.М., Пацева І.Г., Герасимчук Л.О., Валерко Р.А., 2026
Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу CC BY 4.0

Постановка проблеми. Сучасний стан довкілля формується під впливом інтенсивного антропогенного навантаження, що проявляється у зростанні концентрації забруднюючих речовин в атмосфері, ґрунті та водних об'єктах. Інтенсивна урбанізація, розвиток промисловості, транспортне навантаження та нераціональне використання природних ресурсів призводять до порушення природних рівноваг у геосистемах. Зміна клімату, деградація екосистем, зниження біорізноманіття, а також зростання захворюваності населення, пов'язаної з екологічними чинниками, свідчать про системний характер екологічної кризи та її багатовимірний вплив на довкілля і суспільство [1]. У цих умовах особливого значення набуває створення та вдосконалення ефективних систем екологічного моніторингу, які забезпечують своєчасне виявлення негативних змін, оцінку їх масштабів і прогнозування подальшого розвитку. Екологічний моніторинг виступає як комплексна система спостережень, аналізу та оцінки стану навколишнього середовища, що дозволяє формувати науково обґрунтовані управлінські рішення у сфері природокористування та охорони довкілля.

Важливою складовою моніторингових досліджень є визначення та використання інформативних індикаторів, які відображають рівень і характер антропогенного впливу. До таких індикаторів належать показники якості атмосферного повітря, стану водних ресурсів, ґрунтового покриву, а також біоіндикатори, що відображають реакцію живих організмів на зміни середовища. Комплексне використання таких показників дозволяє отримати цілісну картину екологічного стану територій.

Незважаючи на значну кількість наукових праць у цій галузі, залишається актуальною проблема систематизації підходів до моніторингу екологічних змін та уніфікації методів оцінювання.

Метою дослідження є аналіз сучасного стану моніторингу екологічних змін на основі систематизації тематичних кластерів наукових публікацій та виявлення ключових індикаторів антропогенного впливу на довкілля. Для досягнення поставленої мети визначено проведено бібліометричний аналіз наукових публікацій у сфері екологічного моніторингу, що дало можливість виявити основні тематичні кластери та ключові індикатори. Аналіз за допомогою програмного забезпечення VOSviewer бібліометричної мережі ключових слів наукових публікацій дозволяє виявити ключові тематичні напрями сучасних досліджень у сфері екології та охорони навколишнього середовища. Кластерна структура карти відображає тісний взаємозв'язок між проблемами забруднення довкілля, змінами клімату, станом здоров'я людини та тварин, а також поширенням інфекційних захворювань.

Аналіз останніх досліджень. Проблематика екологічного моніторингу є предметом активних наукових дискусій у світовій науковій спільноті. Дослідження останніх років свідчать про зростання інтересу до комплексного вивчення взаємодії між забрудненням довкілля та здоров'ям [2]. Особливу увагу приділяють впливу дрібнодисперсних частинок (PM2.5) та інших атмосферних полютантів на розвиток серцево-судинних захворювань і передчасну смертність [3].

Значна кількість публікацій присвячена дослідженню впливу змін клімату на стан екосистем і біорізноманіття [4; 5]. Сучасні дослідження фокусуються на моніторингу таких індикаторів, як зміна ареалів видів, фенологічні зміни, деградація морських екосистем та танення арктичних льодовиків [6; 7]. Водночас, пандемія COVID-19 стимулювала нові напрями досліджень, що вивчають зв'язок між якістю навколишнього середовища та поширенням інфекційних захворювань [8; 9].

У сфері моніторингу ґрунтових забруднень вагомий внесок зробили праці, присвячені дослідженню важких металів (ртуть, свинець), мікропластику та інших стійких органічних забруднювачів [10–12]. Використання дистанційного зондування Землі, геоінформаційних систем (GIS) та супутникових знімків дозволяє здійснювати моніторинг екологічних змін у планетарному масштабі.

Виклад основного матеріалу. Аналіз бібліометричної карти ключових слів, дозволив виокремити п'ять основних тематичних кластерів у сфері екологічного моніторингу (рис. 1). Центральне місце в мережі займають такі концепти, як «humans» (люди), «animals» (тварини), «ecosystem» (екосистема), «climate change» (зміна клімату), «air pollutants» (атмосферні забруднювачі), що свідчить про міждисциплінарний характер сучасних екологічних досліджень.

Перший кластер (червоний) об'єднує дослідження у галузі біомедицини та мікробіології. Ключовими концептами є «bacteria», «animals», «mice», «gastrointestinal microbiome», «oxidative stress», «inflammation». Цей кластер відображає активні дослідження молекулярних механізмів відповіді живих організмів на дію екологічних стресорів. Зокрема, вивчається вплив забруднювачів на склад мікробіоти, що є чутливим індикатором екологічного неблагополуччя.

Другий кластер (зелений) включає дослідження екосистем та охорони природи. Центральними поняттями є «ecosystem», «soil», «climate change», «conservation of natural resources», «seawater», «lakes», «arctic regions» (арктичні регіони). Даний кластер відображає широкий спектр досліджень стану наземних і водних екосистем в умовах кліматичних змін та антропогенного тиску. Особливу увагу дослідників привертають арктичні екосистеми як індикатор глобального потепління.

Третій кластер (синій) об'єднує епідеміологічні та клінічні дослідження здоров'я людини. До нього входять такі ключові слова, як «humans»,

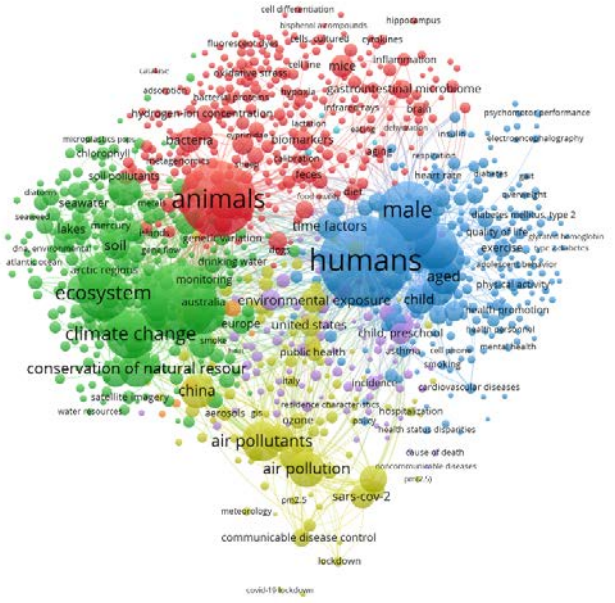

Рис. 1. Бібліографічна карта наукових публікацій за ключовим словом моніторинг екологічних змін

«male», «aged», «exercise», «diabetes mellitus type 2», «cardiovascular diseases», «quality of life». Цей кластер демонструє зростаючий інтерес до вивчення зв'язку між станом здоров'я населення та екологічними чинниками, зокрема впливом забруднення повітря на розвиток неінфекційних захворювань.

Четвертий кластер (жовто-зелений) присвячений дослідженню атмосферного забруднення та його наслідків для здоров'я. Ключові поняття: «air pollutants», «air pollution», «pm2.5», «ozone», «aerosols», «sars-cov-2», «communicable disease control». Дослідження даного кластеру вказують на тісний зв'язок між якістю атмосферного повітря та захворюваністю на респіраторні та інфекційні хвороби, що набуло особливої актуальності в умовах пандемії COVID-19.

П'ятий кластер (фіолетовий) об'єднує дослідження соціально-екологічного характеру. До нього входять: «public health», «incidence», «residence characteristics», «hospitalization», «health status disparities». Цей кластер відображає зростаючий інтерес до соціальних детермінант здоров'ятанерівностівдоступідоякісногонавколишнього середовища.

Важливою характеристикою виявленої бібліометричної мережі є її географічна складова. Серед ключових слів виділяються топоніми: «China», «United States», «Australia», «Europe», «Italy», «Atlantic Ocean». Це свідчить про значний внесок досліджень, що охоплюють різні географічні регіони, у формування глобальної картини екологічних змін.

Аналіз центральності вузлів мережі показує, що найвищий ступінь зв'язності мають концепти «humans», «animals», «ecosystem», «climate change» та «air pollution». Це свідчить про те, що саме ці напрями є ядром сучасного екологічного моніторингу та слугують сполучною ланкою між різними дослідницькими областями. Міждисциплінарний характер проблеми підкреслюється наявністю зв'язків між біомедичним, екосистемним та соціально-епідеміологічним кластерами.

Моніторинг екологічних змін передбачає використання широкого спектра методів і показників [13]. На рівні екосистем застосовуються дані супутникового зондування, моніторинг біорізноманіття, аналіз стану ґрунтів і водних об'єктів. На рівні організму – використання біомаркерів (biomarkers) як чутливих індикаторів впливу екологічних чинників. На популяційному рівні – епідеміологічні дослідження захворюваності та смертності, пов'язаних із забрудненням довкілля. Особливої уваги заслуговує наявність у мережі концептів, пов'язаних із мікропластиком, хлорофілом, важкими металами, генетичними змінами. Це відображає формування нових напрямів екологічного моніторингу, пов'язаних із новітніми забруднювачами та молекулярно-генетичними методами оцінки стану екосистем.

Сучасний моніторинг екологічних змін потребує інтеграції міждисциплінарних підходів, що поєднують методи дистанційного зондування, геоінформаційних технологій, молекулярно-генетичного аналізу та епідеміологічних досліджень. Пріоритетними завданнями є розроблення уніфікованих протоколів моніторингу, розширення мережі спостережень та формування міжнародних баз даних для комплексного оцінювання екологічної ситуації.

Висновки. Бібліометричний аналіз наукових публікацій у сфері екологічного моніторингу дозволив систематизувати сучасні напрями досліджень і виявити п'ять основних тематичних кластерів: біомедичний, екосистемний, клінічно-епідеміологічний, атмосферного забруднення та соціально-екологічний. Така структуризація свідчить про міждисциплінарний характер сучасної екологічної науки, яка інтегрує підходи природничих, медичних та соціальних наук для комплексного оцінювання стану довкілля. Ключовими об'єктами сучасного екологічного моніторингу залишаються стан атмосферного повітря, якість ґрунтів, стан водних екосистем та здоров'я живих організмів. Особлива увага у наукових дослідженнях приділяється оцінці впливу дрібнодисперсних частинок, важких металів, стійких органічних забруднювачів та мікропластику, які мають здатність до накопичення в природних середовищах і біологічних системах. Встановлено тісний та багаторівневий зв'язок між забрудненням навколишнього середовища та станом здоров'я населення, що проявляється у зростанні ризиків серцево-судинних, респіраторних та онкологічних захворювань. Крім того, екологічні фактори суттєво впливають на функціонування екосистем, зумовлюючи зміни біорізноманіття, деградацію природних ландшафтів та порушення екологічної рівноваги.

 ISSN: 2306-9716 (Print), ISSN: 2664-6110 (Online)

Сучасні підходи до екологічного моніторингу дедалі більше базуються на використанні інноваційних технологій, зокрема геоінформаційних систем, та дистанційного зондування Землі, що дозволяє здійснювати просторово-часовий аналіз екологічних процесів із високою точністю. Це відкриває нові можливості для раннього виявлення екологічних ризиків та прогнозування їх розвитку. Таким чином, розвиток екологічного моніторингу є ключовим елементом забезпечення екологічної безпеки, сталого розвитку та збереження природних ресурсів в умовах зростаючого антропогенного навантаження.

Література

1. Kahukina A., Patseva I. Assessment and forecast of atmospheric pollutant dynamics in the urban ecosystem of Zhytomyr. *Technology Audit and Production Reserves*. 2025. № 2 (82). P. 36–42. DOI: https://doi.org/10.15587/2706-5448.2025.326893.
2. Fuller R., Landrigan P. J., Balakrishnan K., Bathan G., Bose-O'Reilly S., Brauer M., Caravanos J., Chiles T., Cohen A., Corra L., Cropper M., Ferraro G., Hanna J., Hanrahan D., Hu H., Hunter D., Janata G., Kupka R., Lanphear B., Lichtveld M., Martin K., Mustapha A., Sanchez-Triana E., Sandilya K., Schaefli L., Shaw J., Seddon J., Suk W., Téllez-Rojo M. M., Yan C. Pollution and health: A progress update. *The Lancet Planetary Health*. 2022. Vol. 6, № 6. P. e535–e547. DOI: https://doi.org/10.1016/S2542-5196(22)00090-0.
3. Wang S., Liu T., Su Y. et al. Air pollution and COVID-19 mortality in Chinese cities: insights from a multi-city analysis during the pandemic's first wave. *npj Climate and Atmospheric Science*. 2025. Vol. 8. Art. 151. DOI: https://doi.org/10.1038/s41612-025-01042-8.
4. Mu Y.-Q., Che T., Dai L.-Y., Liu S.-W., Wang G.-G. Interplay between snow phenology and vegetation phenology in Alaska under climate change. *Advances in Climate Change Research*. 2025. Vol. 16, № 3. P. 490–500. DOI: https://doi.org/10.1016/j.accre.2025.04.001.
5. Wenzl M., Baumhoer C. A., Dietz A. J., Kuenzer C. Vegetation Changes in the Arctic: A Review of Earth Observation Applications. *Remote Sensing*. 2024. Vol. 16, № 23. Art. 4509. DOI: https://doi.org/10.3390/rs16234509.
6. Marsh G., Chernikhova D., Thiele S., Altshuler I. Microbial dynamics in rapidly transforming Arctic proglacial landscapes. *PLOS Climate*. 2024. Vol. 3, № 6. Art. e0000337. DOI: https://doi.org/10.1371/journal.pclm.0000337.
7. Descamps S., Jungblut S., Yoccoz N. G., Schlegel R., Kovacs K. M., Merkel F., Renaud P. E., Sen A., Søreide J. E., Vader A., Bailey A., Berge J., Düsedau L., Gabrielsen G. W., Hanssen S. A., Hop H., Jørgensen L. L., Lydersen C., Marnela M., Merillet L., Moe B., Sauser C., Systad G. H., Wold A., Bischof K. Biodiversity changes in Arctic coastal ecosystems under borealization. *PNAS Nexus*. 2026. Vol. 5, № 2. Art. pgag004. DOI: https://doi.org/10.1093/pnasnexus/pgag004.
8. Wang S., Liu T., Su Y. et al. Air pollution and COVID-19 mortality in Chinese cities: insights from a multi-city analysis during the pandemic's first wave. *npj Climate and Atmospheric Science*. 2025. Vol. 8. Art. 151. DOI: https://doi.org/10.1038/s41612-025-01042-8.
9. Alsina-Pujols M., Vall Castelló J. Air Pollution and COVID-19 Severity. *Environmental and Resource Economics*. 2025. Vol. 88. P. 2235–2261. DOI: https://doi.org/10.1007/s10640-025-01007-8.
10. Tian S., Riddick S. N., Cho Y., Bell C. S., Zimmerle D. J., Smits K. M. Investigating detection probability of mobile survey solutions for natural gas pipeline leaks under different atmospheric conditions. *Environmental Pollution*. 2022. Vol. 312. Art. 120027. DOI: https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.120027.
11. Коцюба І., Лук'янова В., Анпілова Ю., Єльнікова Т., Герасимчук О., Спасіченко О. Особливості процесів евтрофікації у воді річки Уж. *Екологічна інженерія та екологічні технології*. 2022. Т. 23, № 2. С. 9–15. https://doi.org/10.12912/27197050/145613
12. Tsyhanenko-Dziubenko I., Kireitseva H., Demchuk L. Dynamics of heavy metal compounds allocation in urbohydrotops of Kyiv region in post-military conditions. *17th International Conference Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment*. 2023. P. 1–5. DOI: https://doi.org/10.3997/2214-4609.2023520066.
13. Кагукіна А. М., Пацева І. Г. Взаємозв'язок метеорологічних параметрів та забруднюючих речовин у повітряному басейні міста Житомир. *Екологічні науки*. 2025. Вип. 1 (58). С. 58–64. DOI: https://doi.org/10.32846/2306-9716/2025.eco.1-58.10.

Дата першого надходження статті до видання: 02.09.2026
Дата прийняття статті до друку після рецензування: 04.11.2026
Дата публікації (оприлюднення) статті: 23.11.2026