

ТОКСИЧНИЙ ВПЛИВ МІКРОПЛАСТИКУ НА ВОДНІ ЕКОСИСТЕМИ ТА ЛЮДИНУ

Клід В.В.¹, Харченко Ю.В.², Демчина Р.О.³

¹Карпатський національний університет імені Василя Стефаника
вул. Шевченка, 57, 76000, м. Івано-Франківськ

²Сумський державний педагогічний університет імені А.С.Макаренка
вул. Роменська, 87, 40000, м. Суми

³Національний лісотехнічний університет України
вул. Генерала Чупринки, 103, 79057, м. Львів

viktor.klid@pnu.edu.ua; yuvlakhar@gmail.com; demschyna@nltu.edu.ua

Антропогенна діяльність призводить до зростання концентрацій токсичних речовин у поверхневих водоймах, формуючи ризики для біоти, екосистеми в цілому та здоров'я людини. Особливу загрозу на сьогодні створює глобальне забруднення мікропластиком, що має прямий та вторинний вплив на живі організми та довкілля. Дослідження присвячене розширеному аналізу токсичного впливу мікропластику та пошуку шляхів превентивної підтримки стійкості екосистем до його безпосередньої дії. Розглянуто специфіку реагування біосистеми на забруднювач, ідентифіковані основні джерела забруднення. У статті запропоновано оптимальні практичні заходи для зменшення негативного впливу пластику на стан природних водойм та здоров'я населення, покращення загальної екологічної ситуації. При цьому було проаналізовано успішні практики боротьби з пластиковим забрудненням у розвинених країнах глобальної спільноти: доведено ефективність міжнародних ініціатив та програм боротьби з пластиковим забрудненням, партнерства державних природоохоронних інституцій з приватним сектором та громадськістю, просування альтернатив пластику та підвищення відповідальності виробників. Зважаючи на широту спектру шкідливого впливу мікропластику на довкілля, стає очевидною необхідність формування комплексних стратегій екологічної стійкості для інтеграції в реалії соціально-економічного середовища: забезпечення постійного контролю рівня забруднення компонентів навколишнього середовища; способів очистки гідросфери в цілому та, зокрема, питної води; розробки і впровадження нових видів біорозкладних альтернатив традиційному пластику. У дослідженні обґрунтована важливість своєчасної ідентифікації джерел забруднення, а також включення дослідження мікропластикового забруднення до програм моніторингу поверхневих природних вод за різними фракціями пластику. **Ключові слова:** забруднення, довкілля, мікропластик, поверхневі води, стічні води, екосистема, біота, антропогенне навантаження, біоіндикація, забруднення навколишнього природного середовища.

Toxic effects of microplastics on aquatic ecosystems and humans. Klid V., Kharchenko Y., Demchyna R.

Water and environmental problems are reflected in the degradation of water and land resources, deterioration of population health indicators, destructive processes in ecosystems, and reduction of biodiversity. A particular threat today is global microplastic pollution, which has a direct and secondary impact on living organisms and the environment. The study is devoted to an expanded analysis of the toxic impact of microplastics and the search for ways to preventively support the resilience of ecosystems to its direct action. The successful practices for combating plastic pollution in developed countries of the global community were analyzed: the effectiveness of international initiatives and programs to combat plastic pollution, partnerships between state environmental institutions with the private sector and the public, the promotion of alternatives to plastic, and increased responsibility of producers are proven. The study substantiates the importance of timely identification of pollution sources, as well as the inclusion of microplastic pollution studies in surface natural water monitoring programs for various plastic fractions. Micron- and nano-sized plastic particles are rapidly and widely distributed in the aquatic environment through food webs and aggregation processes, destructively affecting entire ecosystems and creating new, often unidentified threats to human health. The article conducts a comparative analysis of trends in minimizing the impact of plastic in Germany, China, and the USA and proposes the author's vision of a comprehensive strategy for managing plastic waste in Ukraine to achieve key environmental and social goals of sustainable development. The concept proposed in the study focuses on achieving key environmental goals and involves reducing the production and use of single-use plastic products, integrating and supporting zero waste systems, and defining and adopting realistic, achievable pollution reduction targets. **Key words:** pollution, environment, microplastics, surface water, wastewater, ecosystem, biota, anthropogenic load, bioindication, environmental pollution.

Постановка проблеми. У природні відкриті водотоки та водойми без належного очищення скидається великий обсяг забруднених стічних вод, що містять у своєму складі сполуки та елементи, шкідливі для водного середовища та екологічної обстановки в цілому. Водно-екологічні проблеми знаходять своє відображення у деградації водних та

земельних ресурсів, погіршенні показників здоров'я населення, деструктивних процесах в екосистемах, зменшенні біорізноманіття. Одним із найбільш небезпечних забрудників, що важко піддається ідентифікації, є мікропластик.

Глобальні показники виробництва пластику зросли вдвічі за 2005-2025 рр., маючи тенденцію до



подальшого збільшення. При цьому лише близько 9% пластику ефективно переробляється: решта 12% спалюється, 79% розміщується на полігонах і в навколишньому середовищі [1]. Кожного року у водні об'єкти надходить близько 5-13 млн. т пластикових відходів. Як свідчать статистичні дані, сформовані організацією по збереженню морського середовища Surfers Against Sewage, така тенденція має спричинити до 2050 року перевищення загальної маси пластику у Світовому океані над їх масою.[2].

Актуальність дослідження. Мікропластик потрапляє у природне водне середовище через стічні води, поверхнево активні речовини від побутової хімії, розкладання великого сміття, а також атмосферні опади. Зазначене робить його присутність повсюдною, будучи глобальним забрудником водних ресурсів, який адсорбує токсини та спричиняє біоаккумуляцію у водних організмах, для людини мікропластик становить особливу небезпеку, викликаючи гормональні порушення, хронічні запалення, підвищуючи ризики виникнення онкологічних та серцево-судинних захворювань, ураження нервової системи. Це зумовлює необхідність активного дослідження специфіки впливу мікропластику на водні організми та людину в сучасних умовах функціонування екосистем, у тому числі з використанням методів біоіндикації.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Негативні наслідки скидів забруднюючих речовин у природне водне середовище вивчаються у роботах сучасних дослідників Т. Волкер, Л. Фекет (T. Walker, L. Fequet) [3], М. Башман (M. Bachmann) та ін. [4]. Вчені приділяють особливу увагу токсичним та канцерогенним властивостям окремих складових стічних вод від промисловості та комунального господарства та приходять до переконання, що багато деструктивних змін у водних екосистемах, що важко піддаються регенерації, спровоковані саме масштабними скидами токсичних відходів пластику. Висновки вчених доповнює група дослідників на чолі Ф. Хак та К. Фан (F. Haque, C. Fan) [5], а також Н. Евойд (N. Evode) [6], котрі переконують у особливій актуальності впливу на природні водні об'єкти нових маловивчених забрудників, які фактично не піддаються очищенню навіть при задовільному стані систем повного очищення стічних вод. У пошуку способів оптимізації ситуації та нівелювання негативних наслідків вчені приходять до висновків, що модернізація діючих очисних споруд, з пріоритетом екологічності, у поєднанні з ефективним моніторингом параметрів забруднення навколишнього середовища є оптимальним екосистемним підходом до збереження довкілля та здоров'я населення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У публікаціях Е. Джонс, М. Вандерс (E. Jones E., M. Wanders) [7] було запропоновано рішення для покращення процесу поводження з пластиковими відходами, шляхом використання різних стратегій та

інструментів – організаційних, технічних, управлінських. Л. Хоу та ін. (L. Hou) [8], М. ван Вліет (M. van Vliet) [9] виділили ключові перспективи вдосконалення процесу в найближчому майбутньому: скорочення споживання пластику, встановлення жорстких вимог до переробки та утилізації відходів, інтеграція загальної стратегії переходу до циклічної економіки та відповідального виробництва.

Т. Нільсен з колегами (T. Nielsen) [10] провели загальне якісне дослідження, в ході якого були розглянуті основні інструменти зеленого фінансування екологічно стійких проектів. Зелені облигації, зелені кредити, державні субсидії, на думку авторів, можуть використовуватись для фінансування проектів, спрямованих на зниження негативного впливу на навколишнє середовище, зокрема – для нейтралізації шкідливого впливу пластику на динаміку екосистем.

Окремі аспекти досліджуваної проблеми розглядаються в публікаціях М. М. Маклед та ін. (M. MacLeod) [11], А. Кольманс та ін. (A. Koelmans) [12], де науковці позиціонують мікропластик основною загрозою для поглинання вуглецю в океані, що впливає на кліматичну динаміку.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Водночас, окремі аспекти інтеграції сучасних підходів до поводження з пластиковими відходами залишаються малодослідженими. Спостерігається дефіцит практичних досліджень у даному полі, які б дозволили розробити конкретні інструменти формування дієвих програм ефективної боротьби із забрудненням.

Новизна. У дослідженні запропоновано новий підхід до усвідомлення впливу мікропластику та запропоновано авторське бачення комплексної концепції збереження екологічної стабільності через врегулювання поводження з пластиковими забруднювачами, що базуються на міжнародному досвіді.

Методологічне або загальнонаукове значення. Метою дослідження є розширений аналіз впливу мікропластику на гідросферу та людину, вивчення існуючих рішень щодо мінімізації такого впливу. У статті проведено порівняльний аналіз тенденцій мінімізації впливу пластику у Німеччині, Китаї, США та запропоновано авторське бачення комплексної стратегії поводження з пластиковими відходами в Україні для досягнення ключових екологічних та соціальних цілей сталого розвитку.

Виклад основного матеріалу. Частинки мікропластику потрапляють у поверхневі води внаслідок безпосереднього потрапляння від антропогенної діяльності, або ж через деструкцію більших пластикових відходів, що надходять у водні об'єкти з суші. Особливі розміри мікропластику (0,1–5 мм) дозволяють йому потрапити в саму основу морської харчової мережі, впливати на стан зоопланктону, пригнічують фотосинтез та спричиняють окислювальний стрес. Він є токсичним для гідробіонтів, слугуючи

трансфером хімічних сполук (фталати, бісфенол А), які деструктивно впливають на ендокринну систему та накопичуються в харчових ланцюгах. При цьому варто зауважити, що нанопластик (розміром менше 0,1 мкм) вбачається особливо небезпечним в контексті токсичного ефекту при підвищеній проникній здатності, що потенційно може порушувати фізіологічні процеси [13].

Потрапляючи в організм людини, мікропластик впливає комплексно, адже з шлунково-кишкового тракту потрапляє в кров, накопичується у нирках і печінці, чинить запальний та канцерогенний вплив, може навіть потенційно призводити до мутацій клітин і виникнення новоутворень. Важливою особливістю мікропластику є його адсорбуючі властивості, що підсилює його токсичну дію за рахунок раніше увібраних шкідливих речовин. Так, ученими на сьогодні експериментально доведено зв'язок між впливом пластику і захворюваннями нервової, травної системи, генетичними мутаціями, розвитком лейкемії, зниженням репродуктивної функції [7].

Необхідно також відзначити вторинні наслідки токсичного впливу мікропластику, зокрема, що виникають як результат поглинання частинок пластику водною біотою, внаслідок чого залишкові мономери – компоненти з'єднань пластику можуть вилугувувати. Також потенційними вторинними наслідками є абсорбція стійких органічних забруднювачів поверхнею пластику, що підсилює його токсичну дію на живі організми [4], або ж виділення токсичних проміжних продуктів при частковій деградації пластику.

Глобальна спільнота просуває ряд екологічних ініціатив у даному напрямку. Зокрема, розмір ринку переробленого пластику в Німеччині у 2024 році оцінювався у 5,62 млн. доларів США. Очікується, що ринок переробленого пластику в Німеччині до 2033 р. перевищить 7,98 мільйона доларів США, зростаючи з середньорічним темпом зростання 3,57% з 2023 по 2033 [14]. Попит на пакувальні матеріали, особливо на пластик, зростає разом із зростанням онлайн-комерції, а тому в Німеччині з 2021 року запроваджено заборону на низку одноразових пластикових виробів відповідно до директиви Європейського Союзу. Також, з 2021 року виробники несуть відповідальність за збір та утилізацію своєї продукції та упаковки, що сприяє збільшенню частки вторинних матеріалів та стимулює використання упаковки, що переробляється.

Як результат таких заходів, ступінь переробки упаковки в Німеччині перевищує 70%, а відходів пластикової упаковки – близько 50%, що є одним із найкращих показників у світі. Процес переробки пластику в Німеччині передбачає роздільне збирання відходів та їх додаткове сортування за типами пластику на заводах, механічну обробку, грануляцію – подрібнений пластик плавиться та переробляється в гранули, які є сировиною для виробництва нових виробів (упаковки, контейнерів, пляшок та ін.).

У той же час, Китай ввів обмеження на імпорт відходів через екологічні проблеми та зниження якості сировини, що переробляється. Це змусило розвинені країни шукати інші шляхи утилізації відходів, а Китай – зосередитись на власних проблемах. У Китаї використовуються різні види переробки пластику, розробляються нові, біорозкладні матеріали, і вводяться заборони на одноразовий пластик [15].

Усі наслідки забруднення водою стічними водами завдають величезної шкоди природним екосистемам, негативно впливаючи на їх різні складові. Загалом можна стверджувати про економічні (наприклад, втрати продуктивності водою, витрати на регенерацію), соціальні (зокрема, деградація ландшафтів) та екологічні (наприклад, руйнування унікальних екосистем, зникнення видового розмаїття) векторів негативних наслідків впливу мікропластику на природні водоїми.

У наступні роки очікувати зниження кількості забруднюючих речовин з вмістом мікропластику, що надходять у природні водоїми України, не доводиться. Така ситуація актуалізує необхідність ефективного моніторингу, а також моделювання та прогнозування стану природних поверхневих вод за умов посилення впливу антропогенної діяльності. З метою оптимізації ситуації водно-екологічного спрямування є оптимальними та реальними до впровадження наступні заходи:

- впровадження та оптимізація системи моніторингу стану водних ресурсів; посилення заходів відповідальності за забруднення природних водою стічними водами;
- оптимізація законодавчої бази у галузі водокористування;
- пріоритетність приведення у належний стан та покращення систем очищення стічних вод у процесі планування та реалізації програм регіонального розвитку;
- розробка та впровадження сучасних систем очищення стічних вод з метою обмеження, а в майбутньому – заборони на безпосереднє скидання стічних вод у природні водоїми;
- удосконалення системи управління водними ресурсами, їх розподілом та раціональним використанням.

Для «зеленого» розвитку та екологізації виробничих процесів необхідним є впровадження енергоефективних, екологічно орієнтованих інноваційних технологій, за допомогою яких стає можливим максимальний контроль за процесами утворення шкідливих речовин та зменшення кількісних показників їх у стічних водах [16]. Базові інструменти впровадження стратегії – скорочення виробництва та використання одноразових пластикових виробів – мають бути закріплені на законодавчому рівні. При цьому необхідно забезпечити заміну одноразових пластикових виробів на багаторазові, а не інші одноразові матеріали, адже досягнення кількісних цілей ско-

рочення забруднення має супроводжуватися цілями циркулярного використання.

Інтеграція та підтримка систем zero waste («нуль відходів») передбачає безвідходні бізнес-моделі та алгоритми циклічного використання, заборону спалювання пластикових відходів, впровадження практик запобігання утворенню відходів, відкриття центрів повторного використання, використання ефективних економічних стимулів для застосування бізнесом систем повторного використання, роздільний збір та переробка відходів. Zero Waste щодо пластику в Україні має розглядатися як стратегія поетапної мінімізації утворення пластикових відходів шляхом відповідального споживання, багаторазового використання та переробки, а також відмови від одноразового пластику (пластикових пакетів та посуду, вода у пластикових пляшках, пластикові трубочки та упаковка, одноразові пакети) на користь альтернативних багаторазових рішень.

Ефективний моніторинг дозволить вчасно ідентифікувати «вузькі місця» та превентивно попереджати проблемні ситуації. Тому вбачається за необхідне формувати комплексний екосистемний підхід до боротьби з забрудненням мікропластиком, що дозволить максимально ефективно та швидко досягати цілей сталого розвитку.

Перспективи використання результатів дослідження. Мікронні та нанорозмірні частинки пластику швидко і широко поширюються у водному середовищі через харчові мережі та процеси агрегації, деструктивно впливаючи на цілі екосистеми та створюючи нові, часто неідентифіковані загрози для здоров'я людини. Запропонована у дослідженні концепція зосереджена на досягненні ключових екологічних цілей і передбачає скорочення виробництва та використання одноразових пластикових виробів, інтеграцію та підтримку систем zero waste, визначення та прийняття реальних досяжних цілей щодо скорочення забруднення.

Література

1. Plastic Atlas: Facts and figures about the world of synthetic polymers, 2019. https://www.boell.de/sites/default/files/2020-01/Plastic%20Atlas%202019%202nd%20Edition.pdf?dimension1=ds_plastikatlas#page=13 (дата звернення: 15.01.2026)
2. Surfers Against Sewage, 2024. <https://www.sas.org.uk/> (дата звернення: 15.01.2026)
3. Walker T. R., Fequet L. Current trends of unsustainable plastic production and micro (nano) plastic pollution. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*. 2023. Vol. 160. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2023.116984> (дата звернення: 17.01.2026)
4. Bachmann M., Zibunas C., Hartmann J., Tulus V., Suh S., Guillén-Gosálbez G., Bardow A. Towards circular plastics within planetary boundaries. *Nature Sustainability*. 2023. Vol. 6(5). Pp. 599-610. <https://doi.org/10.1038/s41893-022-01054-9> (дата звернення: 20.01.2026)
5. Haque F., Fan C. Fate of microplastics under the influence of climate change. *Iscience*. 2023. Vol. 26(9). <https://doi.org/10.1016/j.isci.2023.107649> (дата звернення: 21.01.2026)
6. Evode N., Qamar S. A., Bilal M., Barceló D., Iqbal H. M. Plastic waste and its management strategies for environmental sustainability. *Case studies in chemical and environmental engineering*. 2021. Vol. 4. <https://doi.org/10.1016/j.cscee.2021.100142> (дата звернення: 21.01.2026)
7. Jones E., Wanders M. Current wastewater treatment targets are insufficient to protect surface water quality. *Commun Earth Environ*. 2022. № 3(221). <https://www.nature.com/articles/s43247-022-00554-y#citeas> (дата звернення: 22.01.2026)
8. Hou L., Zhou Z., Wang R., Li J., Dong F., Liu J. Research on the Non-Point Source Pollution Characteristics of Important Drinking Water Sources. *Water*. 2022. № 14(211). <https://www.mdpi.com/2073-4441/14/2/211> (дата звернення: 25.01.2026)
9. T H van Vliet M., Jones E., Florke M. Global water scarcity including surface water quality and expansions of clean water technologies. *Environ Res Letters*. 2021. Vol. 16. № 2. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/abbfc3> (дата звернення: 22.01.2026)
10. Nielsen T. D., Hasselbalch J., Holmberg K., Stripple J. Politics and the plastic crisis: A review throughout the plastic life cycle. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Energy and Environment*. 2020. Vol. 9(1). <https://doi.org/10.1002/wene.360> (дата звернення: 20.01.2026)
11. MacLeod M., Arp H. P. H., Tekman M. B., Jahnke A. The global threat from plastic pollution. *Science*. 2021. Vol. 373(6550). Pp. 61-65. DOI: 10.1126/science.abg5433 (дата звернення: 19.01.2026)
12. Koelmans A. A., Nor N. H. M., Hermsen E., Kooi M., Mintenig S. M., De France J. Microplastics in freshwaters and drinking water : Critical review and assessment of data quality. *Water Research*. 2019. № 155. Pp. 410-422. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2019.02.054> (дата звернення: 24.01.2026)
13. Kyriakopoulos G. L., Zamparas M. G., Kapsalis V. C. Investigating the human impacts and the environmental consequences of microplastics disposal into water resources. *Sustainability*. 2022. Т. 14. №. 2. P. 828. <https://doi.org/10.3390/su14020828> (дата звернення: 19.01.2026)
14. Europe Recycled Plastics Market. Grand View Research Reports, 2025. <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/europe-recycled-plastics-market-report> (дата звернення: 16.01.2026)
15. China Recycled Plastics Market Size & Outlook. Grand View Research Reports, 2025. <https://www.grandviewresearch.com/horizon/outlook/recycled-plastics-market/china> (дата звернення: 22.01.2026)
16. Klymenko K., Petrukha N., Petrukha S. "Green" Marshall Plan For Ukraine : Financial, Economic and Regulatory Context. *RFI Scientific papers*. 2024. № 1 (106). Pp. 20-49. <https://doi.org/10.33763/npndfi2024.01.020> (дата звернення: 22.01.2026)

Дата першого надходження статті до видання: 02.03.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 24.04.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 29.05.2026