

В. В. БАБІЄНКО

АНАЛІЗ ДОСЛІДЖЕНЬ МІКРОПЛАСТИКУ У ВОДІ ВОДОЙМ

Одеський національний медичний університет, м. Одеса, Україна

Мета: узагальнити дані літератури щодо забруднення мікропластиком водного середовища з метою розробки рекомендацій для дослідників у цій галузі щодо швидкого розуміння стану поточних досліджень.

Матеріали і методи. Використано аналіз статей, опублікованих у ключових журналах, індексованих у Web of Science з 2011 до 2023 року, з використанням CiteSpace та VOSviewer для вилучення й візуалізації даних.

Результати. Мікропластик у воді став суттєвою проблемою для громадськості останніми роками через його потенційний негативний вплив на здоров'я людини та тварин. Результати свідчать про помітне збільшення як кількості публікацій, так і цитувань з 2018 року. Спочатку Велика Британія була на передовій дослідницькій позиції в цій галузі, із часткою публікацій 16,59 % з 2011 до 2017 року та 4,37 % з 2018 до 2023 року. Однак частка публікацій у Китаї зросла з 10,31 до 40,45 %. Бюлетень про забруднення морського середовища не лише був одним із перших, хто зробив внесок у цю галузь, а і є рекордсменом за найбільшою кількістю опублікованих статей. Аналіз ключових слів указує на тенденції досліджень та актуальні теми. Нещодавні дослідження методів видалення мікропластику переважно зосереджені на адсорбції. Ба більше, дослідження, що зосереджені на мікропластику в поверхневих водах, також привернули значну увагу. Пропонується комплексний огляд досліджень. Надано рекомендації щодо майбутніх напрямів дослідження мікропластику.

Висновок. Проведений аналіз визначає тенденції досліджень мікропластику: від ідентифікації забруднення мікропластиком водойм через оцінку його шкідливого впливу до розробки методів видалення.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: бібліометричний аналіз; мікропластик; мережевий аналіз; водойми.

Вступ. Щороку виробляють мільйони метричних тонн пластику. Незліченна кількість пластикових відходів накопичується в морських середовищах існування по всьому світу та може зберігатися тривалий час. Пластик класифікується як макропластик (>25 мм), мезопластик (5–25 мм), мікропластик (<5 мм) та нанопластик (0,1 мкм). Мікропластик – це пластикові частинки, фрагменти та волокна розміром або еквівалентними розмірами менш ніж 5 мм. Через свій малий розмір та велику кількість вони легко розкладаються, транспортуються й накопичуються в навколишньому середовищі, а також здатні переносити інші забрудники. Щойно мікропластик потрапляє в навколишнє середовище, він становить значну загрозу для екосистем. Забруднення мікропластиком впливає на людей, тварин, рослини та навколишнє середовище загалом. Дослідження показують, що мікропластик може потрапляти в організми через повітря, ґрунт та воду, загрожуючи цілісності екосистеми. Як наслідок, контроль забруднення мікропластиком має вирішальне значення для глобального захисту довкілля та громадського здоров'я [1].

У березні 2023 року в дослідницькому звіті, опублікованому в журналі Public Library of Science Omnis, оцінено, що на поверхні океану наявні приблизно 17 трильйонів шматочків пластику,

переважно мікропластику, більшість з яких викинуто в океан з 2005 року. Це забруднення зросло до безпрецедентного рівня за останні 15 років [2].

Дослідження мікропластику досягли певного прогресу, але все ще потрібні подальші зусилля з погляду повного наукового розуміння мікропластику, оцінки впливу на навколишнє середовище та стратегій управління.

Бібліометрія – це науковий метод кількісного аналізу розвитку та еволюції наукових досліджень у певній галузі, яка пропонує краще розуміння тенденцій досліджень та нових інтересів. CiteSpace та VOSviewer – це широко використовувані програмні засоби візуалізації для створення карт знань. Ці інструменти дають змогу візуально аналізувати наукову літературу, включно з часом публікації, ключовими словами, належністю авторів тощо. За допомогою CiteSpace та VOSviewer дослідники можуть кількісно оцінити стан досліджень, актуальні питання, наявні проблеми та тенденції розвитку в певній галузі [3].

Мета: проаналізувати дані літератури щодо забруднення «мікропластиком» водного середовища для розробки рекомендацій для дослідників у цій галузі стосовно швидкого розуміння стану поточних досліджень.

Матеріали і методи. Використано аналіз статей, опублікованих у ключових журналах,

індексованих у Web of Science з 2011 до 2023 року, з використанням CiteSpace та VOSviewer для вилучення та візуалізації даних.

Результати дослідження та обговорення.

На основі результатів пошуку з Web of Science [4], хронологію досліджень розподілено на три окремі фази. На другій фазі (2014–2017) кількість публікацій на рік становила менш ніж 100, із середньорічним збільшенням приблизно на 20 статей. Третій етап (2018–2023) – це період вибухового зростання зі щорічним подвоєнням кількості публікацій.

Загалом 472 журнали опублікували статті, пов'язані з дослідженнями мікропластику у водному середовищі. З 2018 до 2023 року в 459 журналах опубліковано загалом 4 680 статей, що належать до 111 категорій Web of Science, а п'ятьма провідними категоріями є Environmental Sciences (Науки про навколишнє середовище), Engineering Environmental (Інженерне довкілля), Marine Freshwater Biology (Морська біологія), Water Resources (Водні ресурси) та Toxicology (Токсикологія). П'ять провідних журналів з найбільшою кількістю публікацій такі: Science of The Total Environment (621 стаття) (15,17 %), Marine Pollution Bulletin з 373 статтями (9,11 %), Environmental Pollution з 341 статтею (8,33 %), Journal of Hazardous Materials з 261 статтею (6,38 %) та Chemosphere з 223 статтями (5,45 %).

Дослідницькі можливості та вплив країни / регіону можна відобразити кількістю статей, проіндексованих у Science Citation Index (SCI). Тут представлено 4 309 документів про дослідження мікропластику у водоймах, що охоплюють загалом 122 країни та регіони світу. Рівень співпраці між країнами можна визначити за кількістю зв'язків. Сполучені Штати, Велика Британія та Німеччина мають найвищий обсяг публікацій і найтісніші партнерські відносини між собою, тоді як Китай посідає четверте місце за обсягом публікацій, маючи партнерські відносини з Німеччиною, Сполученими Штатами та Францією. Протягом третього етапу (2018–2023) кількість публікацій з Китаю швидко зросла до 1 647, що становить 40,00 % загальної кількості публікацій на цьому етапі, що перевищує сукупну кількість публікацій країн з другого по п'яте місця: Сполучених Штатів (379), Італії (273), Іспанії (267) та Німеччини (248). Китай поступово став лідером внеску в цю галузь. До основних країн, які тісно співпрацюють з Китаєм, належать Сполучені Штати, Велика Британія, Німеччина та Австралія. Але співпраця між країнами Європейського Союзу ще тісніша, про що свідчить інституційний аналіз. У майбутньому слід посилити міжнародну дослідницьку співпрацю для вирішення глобальної проблеми забруднення мікропластиком.

Крім того, країни та установи можуть запропонувати більш детальну інформацію про

дослідження із цієї теми, включно з ключовими установами в цій галузі та їх співпрацю. Академічні ранги установ указують на їх відносне становище та рівень досягнень щодо міжнародного наукового впливу. Аналіз показав, що у світі 3 616 установ, які проводять дослідження мікропластику у водному середовищі, причому 74 установи мають кількість публікацій понад 20. Серед усіх установ Китайська академія наук має найбільшу кількість публікацій (257 статей, 5,93 %), за нею йдуть Університет Китайської академії наук (132 статті, 3,05 %), Східнокитайський педагогічний університет (118 статей, 2,72 %), Національний центр наукових досліджень CNRS у Франції (116 статей, 2,68 %), Міністерство сільськогосподарства та сільських справ Китаю (82 статті, 1,89 %), Асоціація Гельмгольца в Німеччині (80 статей, 1,85 %) та Нанкінський університет у Китаї (69 статей, 1,59 %).

Аналіз авторів охоплює 4 680 статей про дослідження мікропластику у водному середовищі, у яких загалом бере участь 14 261 автор. Примітно, що 27 авторів перевищили 20 публікацій, що становить 0,02 % від загальної кількості. Загалом, 188 авторів, або 0,10 %, мають понад 10 публікацій. Кількість одноосібних статей становить 63. Співавторів на один документ – 3,74. Карта співпраці, створена за допомогою програмного забезпечення VOSviewer, показує, що такі дослідники, як Wang Jun, Shi Huahong, Guo Xuetao, Ni Bingjie, Li Daoji, Wang Youji, Vollertsen Jes і Huang Wei, є особливо активними в цій галузі. Багато дослідників тісно співпрацюють зі своїми колегами.

Ключові слова конкретних досліджень надають уявлення про тенденції досліджень та актуальні напрямлення в певних галузях. Кластерний аналіз – це цінний метод інтелектуального аналізу даних, який дає змогу швидко виявити закономірності та тенденції в наборах даних. Численні вчені широко досліджували мікропластик у водному середовищі з різних боків. Ці дослідження охоплюють оцінку рівнів забруднення, схем міграції, процесів перетворення, методів виявлення, токсикологічного впливу, методів очищення тощо [5].

На третьому етапі аналіз кластерів ключових слів виявив чотири основні кластери: «морське сміття», «адсорбція», «оксидативний стрес» та «шлам». Кластер «морське сміття» підкреслює, що океан несе основний тягар забруднення мікропластиком, здебільшого в результаті накопичення пластикових відходів з водойм, які зрештою потрапляють в океан. Мікропластик може виступати в ролі точок прикріплення для мікроорганізмів, змінюючи так склад мікробних спільнот у морських осадах та порушуючи екологічні функції наявних мікроорганізмів.

Кластер «адсорбція» визначає адсорбцію шкідливих речовин, зокрема важких металів,

мікропластиком у воді, а також синергетичні ризики, що виникають унаслідок такої взаємодії [6].

Кластер «оксидативний стрес» пояснює токсичні механізми впливу мікропластику на морські організми [7].

Кластер «шлам» зосереджений на наявності мікропластику в осаді очисних споруд, що зумовлено зростанням обсягу мікропластикових відходів, що походять від повсякденних споживчих товарів.

Порівняно з другим етапом, дослідження мікропластику у водному середовищі на третьому етапі є більш специфічними, з основним акцентом на таких напрямках: дослідження забруднення мікропластиком в океанах, дослідження синергетичного токсичного впливу мікропластику та важких металів, вивчення негативного впливу мікропластику на організми й заглиблення в мікропластик, знайдений в осаді міських очисних споруд [8].

Вищенаведений аналіз дає уявлення про тенденції досліджень цієї теми. Спочатку дослідження переважно досліджували забруднення мікропластиком у водоймах, зосереджуючись на проблемі забруднення пластиковими відходами Тихого океану, Середземного і Північного морів та Великих озер [9]. Згодом дослідження заглибилися в наявність мікропластику у водних організмах та його біологічну токсичність. Окрім власного шкідливого впливу, мікропластик може взаємодіяти з токсичними речовинами, як-от важкі метали у воді, що збільшує ризики для організмів. Примітно, що з 2015 року з'явилося безліч кількісних методів виявлення мікропластику. Нещодавні дослідницькі зусилля переважно зосереджені на адсорбції як ключовому методі видалення мікропластику з водойм. Метод адсорбції використовує адсорбенти, як-от активоване вугілля, магнітні наночастинки та оксиди металів, для видалення мікропластику з води. Його переваги містять низьку вартість, високу ефективність та простоту експлуатації. Адсорбція вважається однією з найперспективніших технологій очищення стічних вод від мікропластику. Механізми, за допомогою яких адсорбенти захоплюють мікропластик, містять водневі зв'язки, гідрофобні взаємодії, електростатичне притягання та сили Ван-дер-Ваальса [10].

Глобальні тенденції досліджень мікропластику у воді на основі 4 309 статей, отриманих з основної колекції WOS, показують значне зростання кількості публікацій та цитувань з 2018 року. Зокрема, у 2022 та 2023 роках кількість опублікованих статей перевищила 1 000. Спочатку Велика Британія лідирувала в публікації статей у цій галузі, але після 2018 року Китай став країною з найбільшою

кількістю публікацій. «Бюлетень про забруднення морського середовища» не лише опублікував ранні статті в цій дослідницькій галузі, а й може похвалитися найбільшою кількістю опублікованих статей. Основні журнали, як-от Environmental Science Technology, Environmental Pollution та Science of The Total Environment, є ключовими для досліджень мікропластику у воді. Китайська академія наук має найбільшу кількість публікацій серед усіх установ, тоді як Плімутський університет підтримує широку співпрацю із 73 установами, посідаючи перше місце за кількістю спільних зусиль.

Аналіз ключових слів показує, що дослідження мікропластику у воді охоплюють різні аспекти, включно з оцінкою рівнів забруднення, вивченням міграції та трансформації, аналізом методів виявлення, розумінням токсичних ефектів та дослідженням методів очищення. Початкові дослідження були здебільшого спрямовані на забруднення мікропластиком у водоймах, зокрема на наявність пластикових відходів у Тихому океані, Середземному і Північному морях та Великих озерах. Згодом увага перейшла на виявлення та вплив мікропластику на водні організми, з урахуванням біологічної токсичності. Крім того, мікропластик, окрім своєї властивої токсичності, може взаємодіяти зі шкідливими речовинами, як-от важкі метали у воді, що збільшує ризики для організмів. З 2015 року з'явилося безліч кількісних методів виявлення мікропластику. Нещодавні дослідження зосереджені на адсорбції як основному методі видалення мікропластику з водойм, з додатковим акцентом на вивченні мікропластику в поверхневих водах.

Висновки. Проведений аналіз визначає тенденції досліджень мікропластику: від ідентифікації забруднення мікропластиком водойм через оцінку його шкідливого впливу до розробки методів видалення.

Перспективами подальших досліджень є встановлення єдиних стандартів для збору, аналізу та оцінки мікропластику, а також надійних та стандартизованих методів тестування; оцінка комплексного впливу мікропластику на навколишнє середовище і здоров'я та розробка системи оцінки ризиків; дослідження ефективних, доцільних та економічних технологій видалення мікропластику з води; створення екологічно чистих альтернатив пластиковим виробам.

Фінансування та конфлікт інтересів. Автор заявляє про відсутність конфлікту інтересів. Стаття фінансована власним коштом автора.

Внесок автора: Бабієнко В. В. A, B, C, D, E, F.

Список літератури

1. Bamigboye O., Alfred M. O., Bayode A. A., Unuabonah E. I., Omorogie M. O. The growing threats and mitigation of environmental microplastics. Environmental Chemistry and Ecotoxicology. 2024. Vol. 6. P. 259–268. DOI: 10.1016/j.enceco.2024.07.001.

2. Eriksen M., Cowger W., Erdle L. M., Coffin S., Villarrubia-Gomez P., Moore C. J., Carpenter E. J., Day R. H., Thiel M., Wilcox C. A growing plastic smog, now estimated to be over 170 trillion plastic particles afloat in the world's oceans – urgent solutions required. *PLoS One*. 2023. Vol. 18, No. 3. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0281596>.
3. George M., Nallet F., Fabre P. A threshold model of plastic waste fragmentation: new insights into the distribution of microplastics in the ocean and its evolution over time. *Marine Pollution Bulletin*. 2024. Vol. 199. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2023.116012>.
4. Jia R., Zhang Y., Wang Y., Wang Y., Sun G., Jiang Y. Toxic effects on ciliates under nano-/micro-plastics coexist with silver nanoparticles. *Journal of Hazardous Materials*. 024. Vol. 465. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2023.133058>Get rights and content.
5. Jiang L., Wang M., He S., Ren J., Zhang T., Cheng Z. Bibliometrics and visualization analysis of microplastics research in water from 2011 to 2023. *Journal of Water and Health*. 2025. Vol. 23, No. 3. P. 322. DOI: [10.2166/wh.2025.211](https://doi.org/10.2166/wh.2025.211).
6. Li C., Li X., Bank M. S., Dong T., Fang J. K.-H., Leusch F. D. L., Rillig M. C., Wang J., Wang L., Xia Y., Xu E. G., Yang Y., Zhang C., Zhu D., Liu J., Jin L. The "Microplastome" – a holistic perspective to capture the real-world ecology of microplastics. *Environmental Science & Technology*. 2024. Vol. 58. P. 4060–4069. DOI: [10.1021/acs.est.3c08849](https://doi.org/10.1021/acs.est.3c08849).
7. Liu W., Pan T., Liu H., Jiang M., Zhang T. Adsorption behavior of imidacloprid pesticide on polar microplastics under environmental conditions: critical role of photo-aging. *Frontiers of Environmental Science & Engineering*. 2023. Vol. 17. DOI: [10.1007/s11783-023-1641-0](https://doi.org/10.1007/s11783-023-1641-0).
8. Tan H., Mong G. R., Wong S. L., Wong K. Y., Sheng D. D. C. V., Nyakuma B. B., Othman M. H. D., Kek H. Y., Razis A. F. A., Wahab N. H. A., Wahab R. A., Lee K. Q., Chiong M. C., Lee C. H. Airborne microplastic/nanoplastic research: a comprehensive Web of Science (WoS) data-driven bibliometric analysis. *Environmental Science and Pollution Research*. 2024. Vol. 31. P. 1146–1157. DOI: [10.1007/s11356-023-31228-7](https://doi.org/10.1007/s11356-023-31228-7).
9. Verma A., Sharma G., Kumar A., Dhiman P., Mola G. T., Shan A., Si C. Microplastic pollutants in water: a comprehensive review on their remediation by adsorption using various adsorbents. *Chemosphere*. 2024. Vol. 352. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2024.141365>.
10. Yu J. T., Helm P. A., Diamond M. L. Source-specific categorization of microplastics in nearshore surface waters of the Great Lakes. *Journal of Great Lakes Research*. 2024. Vol. 50. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jglr.2023.102256>.

References

1. Bamigboye, O., Alfred, M. O., Bayode, A. A., Unuabonah, E. I., & Omorogie, M. O. (2024). The growing threats and mitigation of environmental microplastics. *Environmental Chemistry & Ecotoxicology*, 6, 259–268. <https://doi.org/10.1016/j.enceco.2024.07.001>.
2. Eriksen, M., Cowger, W., Erdle, L. M., Coffin, S., Villarrubia-Gomez, P., Moore, C. J., Carpenter, E. J., Day, R. H., Thiel, M., & Wilcox, C. (2023). A growing plastic smog, now estimated to be over 170 trillion plastic particles afloat in the world's oceans – urgent solutions required. *PLoS ONE*, 18(3). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0281596>.
3. George, M., Nallet, F., & Fabre, P. (2024). A threshold model of plastic waste fragmentation: New insights into the distribution of microplastics in the ocean and its evolution over time. *Marine Pollution Bulletin*, 199. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2023.116012>.
4. Jia, R., Zhang, Y., Wang, Y., Wang, Y., Sun, G., & Jiang, Y. (2024). Toxic effects on ciliates under nano-/micro-plastics coexist with silver nanoparticles. *Journal of Hazardous Materials*, 465. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2023.133058>.
5. Jiang, L., Wang, M., He, S., Ren, J., Zhang, T., & Cheng, Z. (2025). Bibliometrics and visualization analysis of microplastics research in water from 2011 to 2023. *Journal of Water and Health*, 23(3), 322. <https://doi.org/10.2166/wh.2025.211>.
6. Li, C., Li, X., Bank, M. S., Dong, T., Fang, J. K.-H., Leusch, F. D. L., Rillig, M. C., Wang, J., Wang, L., Xia, Y., Xu, E. G., Yang, Y., Zhang, C., Zhu, D., Liu, J., & Jin, L. (2024). The "microplastome" – A holistic perspective to capture the real-world ecology of microplastics. *Environmental Science & Technology*, 58, 4060–4069. <https://doi.org/10.1021/acs.est.3c08849>.
7. Liu, W., Pan, T., Liu, H., Jiang, M., & Zhang, T. (2023). Adsorption behavior of imidacloprid pesticide on polar microplastics under environmental conditions: Critical role of photo-aging. *Frontiers of Environmental Science & Engineering*, 17. <https://doi.org/10.1007/s11783-023-1641-0>.
8. Tan, H., Mong, G. R., Wong, S. L., Wong, K. Y., Sheng, D. D. C. V., Nyakuma, B. B., Othman, M. H. D., Kek, H. Y., Razis, A. F. A., Wahab, N. H. A., Wahab, R. A., Lee, K. Q., Chiong, M. C., & Lee, C. H. (2024). Airborne microplastic/nanoplastic research: A comprehensive Web of Science (WoS) data-driven bibliometric analysis. *Environmental Science and Pollution Research*, 31, 1146–1157. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-31228-7>.
9. Verma, A., Sharma, G., Kumar, A., Dhiman, P., Mola, G. T., Shan, A., & Si, C. (2024). Microplastic pollutants in water: A comprehensive review on their remediation by adsorption using various adsorbents. *Chemosphere*, 352. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2024.141365>.
10. Yu, J. T., Helm, P. A., & Diamond, M. L. (2024). Source-specific categorization of microplastics in nearshore surface waters of the Great Lakes. *Journal of Great Lakes Research*, 50. <https://doi.org/10.1016/j.jglr.2023.102256>.

ANALYSIS OF RESEARCH ON MICROPLASTICS IN WATER BODIES

V. V. BABIENKO

Odesa National Medical University, Odesa, Ukraine

Purpose: to summarize the literature on the pollution of aquatic environments by “microplastics” with the aim of developing recommendations for researchers in this field to quickly understand the state of current research.

Materials and methods: we used an analysis of articles published in key journals indexed in the Web of Science from 2011 to 2023, using CiteSpace and VOSviewer for data extraction and visualization.

Results. Microplastics in water have become a significant public concern in recent years due to their potential negative impacts on human and animal health. The results show a notable increase in both the number of publications and citations since 2018. Initially, the UK was at the forefront of research in this field, with a publication share of 16.59 % from 2011 to 2017 and 4.37 % from 2018 to 2023. However, the share of publications in China increased from 10.31 to 40.45 %. The Marine Pollution Bulletin was not only one of the first to contribute to this field, but also holds the record for the largest number of published articles. Keyword analysis indicates research trends and hot topics. Recent research on microplastic removal methods has mainly focused on adsorption. Moreover, research focusing on microplastics in surface waters has also attracted considerable attention. A comprehensive review of existing research is provided. Recommendations for future directions of microplastic research are provided.

Conclusions. The analysis conducted identifies trends in microplastic research from the identification of microplastic contamination in water bodies through the assessment of its harmful effects to the development of removal methods.

KEY WORDS: **bibliometric analysis; microplastics; network analysis; water bodies.**

Рукопис надійшов до редакції 05.10.2025

Рукопис прийнято до публікації 20.10.2025

Рукопис опубліковано 31.12.2025

Відомості про автора:

Бабієнко Володимир Володимирович – доктор медичних наук, професор, завідувач кафедри гігієни, медичної екології та громадського здоров'я Одеського національного медичного університету; ORCID <https://orcid.org/0000-0002-4597-9908>

Електронна адреса для листування: mokienkoav56@gmail.com