

УДК 628.1

**І. Я. Стадник, докт. техн. наук, професор, О. М. Пилипець, канд. техн. наук, доцент
Тернопільський технічний національний університет імені Івана Пулюя, Україна**

ВИЯВЛЕННЯ ТА КОНТРОЛЬ МІКРОПЛАСТИКУ У ХАРЧОВИХ ПРОДУКТАХ І ВОДІ

I. Ya. Stadnyk, Dr., Prof.; O. M. Pylypets, Ph.D., Assoc. Prof.

DETECTION AND CONTROL OF MICROPLASTICS IN FOOD AND WATER

Проблема забруднення довкілля мікропластиком (частинки пластмаси менші за 5 мм) набула глобального характеру. За оцінкою Програми ООН з довкілля, лише у 2020 р. до довкілля потрапило близько 2,7 млн т мікропластику, і за інерційного сценарію ці обсяги можуть подвоїтися до 2040 р. (UNEP, 2025). Паралельно OECD прогнозує майже потроєння використання пластмас до 2060 р., якщо не змінити політику та практики поводження з відходами, що підживлює й проблему мікрофракцій пластику (OECD, 2022).

Джерела потрапляння мікропластику можна умовно поділити на первинні та вторинні, а також простежити їхній шлях у харчових ланцюгах.

Первинний мікропластик утворюється спеціально для промислових і побутових потреб. До нього належать гранули, які використовуються як сировина у виробництві пластмас, а також мікрочастинки з косметичних засобів та побутової хімії - скраби, зубні пасти, пральні порошки. Такі частки спочатку створюються в мікроскопічному розмірі, і через відсутність ефективної фільтрації на очисних спорудах вони безперешкодно потрапляють у водойми.

Вторинний мікропластик виникає внаслідок руйнування більших пластикових виробів під дією сонячного випромінювання, механічного тертя та хімічних процесів. Пластикові пакети, пляшки, пакування, залишені у природі, поступово фрагментуються, перетворюючись на дрібні частинки. Важливим джерелом є й синтетичний текстиль: під час прання з тканин вивільняються мікрОВОлокна, які потрапляють у каналізаційні води, а згодом у річки та моря.

Отже, мікропластик - це одна з найнебезпечніших екологічних загроз сучасності, адже його частинки надзвичайно стійкі, легко поширюються в довкіллі й мають властивість накопичуватися в живих організмах. Внаслідок інтенсивного використання полімерних матеріалів та їх повільної деградації мікропластик потрапляє у ґрунт, воду, атмосферу, а далі – у харчовий ланцюг людини. За даними останніх досліджень, мікропластик виявляють у питній воді, морепродуктах, рибі, молюсках, сільськогосподарських культурах, молочних продуктах і навіть у солі. Це створює серйозні ризики для здоров'я людини та потребує розробки системи ефективного контролю.

Особливу небезпеку становить включення мікропластику у харчовий ланцюг. Частинки потрапляють у ґрунт, воду, накопичуються в організмах риб, молюсків та інших живих істот. Згодом вони опиняються на столах людини разом із морепродуктами, питною водою та навіть фруктами й овочами, які вирощуються на забруднених ґрунтах. Це створює реальний ризик для здоров'я, адже мікропластик здатний переносити токсичні речовини та впливати на клітинні процеси.

Отже, проблема мікропластику є комплексною і потребує глобальних рішень. Зменшення його поширення можливе лише за умови поєднання технологічних інновацій у виявленні, фільтрації та утилізації з відповідальною поведінкою кожної людини щодо використання та переробки пластикових виробів.

Аналіз відомих методів (таблиця 1) виявлення мікропластику показав, що жоден з них не є універсальним. Морфологія найкраще читається мікроскопією (оптична, SEM/TEM), хімічний склад - FTIR/Raman або Py-GC-MS, масова кількість полімерів -

переважно термохромато-мас-спектрометрією. Для великомасштабного моніторингу доцільно комбінувати швидкий скринінг (Nile Red, комп'ютерний зір) із підтверджувальною ідентифікацією (FTIR/Raman) та кількісною верифікацією (Py-GC-MS). Нові сенсори й AI-алгоритми вже переводять аналіз у площину високої пропускну здатності та *in situ*, але потребують подальшої стандартизації, відкритих бібліотек і міжлабораторних валідацій.

Таблиця 1. Зведений аналіз методів виявлення мікропластику.

Метод	Мін. розмір	Що вимірює	Переваги	Обмеження	Типові матриці
Світлова мікроскопія	~50–100 μм	Розмір, форма, колір	Доступність, швидкість	Не дає хімічної ідентифікації	Вода, осади, поверхневі проби
SEM / TEM	<1 μм	Морфологія, поверхнева структура	Висока роздільна здатність	Складна пробопідготовка, відсутня хімічна ідентифікація	Атмосферні частинки, нанопластик
FTIR (ATR, μFTIR)	~10–20 μм	Полімерний склад	Бібліотеки полімерів, кількісний аналіз	Обмежена просторовою роздільністю	Вода, осади, тканини, харчові продукти
Raman-спектроскопія	~1 μм	Полімерний склад, кристалічність	Висока роздільна здатність	Інтерференція флуоресценції	Біота, питна вода, повітря
Py-GC-MS	Будь-який	Якісний і кількісний склад полімерів	Точність, аналіз сумішей	Деструктивний метод, складна пробопідготовка	Осади, ґрунти, біота
Флуоресцентне фарбування (Nile Red)	~10 μм	Візуалізація частинок	Швидкий скринінг	Не підтверджує полімерний склад	Харчові продукти, вода, біота
Нанобіосенсори	<100 нм	Селективність за полімером	Швидкість	На стадії розробки	Вода, повітря
AI+ комбіновані методи	Залежить від техніки	Автоматична класифікація	Висока продуктивність	Потребує великих датасетів	Масовий моніторинг, харчові продукти

Виявлення та контроль мікропластику у харчових продуктах і воді є важливим завданням сучасної харчової безпеки. Комплексний підхід, що включає новітні методи аналітики, цифрові технології відстеження та впровадження екологічних рішень, дозволить зменшити ризики для здоров'я людини та довкілля.

Література

1. USGS. Microplastics in our Nation's Waterways [Електронний ресурс]. – 2023. – Режим доступу: [<https://labs.waterdata.usgs.gov/visualizations/microplastics/index.html>] (дата звернення: 06.09.2025).