

## ENVIRONMENTAL ASPECTS OF RESTORING THE ENVIRONMENT: NANOTECHNOLOGY FOR REMOVING MICRO AND NANOPLASTICS FROM WATER

Zabulonov Yu.L., Melnychenko T.I., Kadoshnikov V.M., Pysanska I.R., Odukalets L.A., Petrenko O.D.

## ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ВІДНОВЛЕННЯ ДОВКІЛЛЯ: НАНОТЕХНОЛОГІЇ ВИДАЛЕННЯ З ВОДИ МІКРО- ТА НАНОПЛАСТИКІВ

# T

<sup>1</sup>ЗАБУЛОНОВ Ю.Л.,  
<sup>1</sup>МЕЛЬНИЧЕНКО Т.І.,  
<sup>1</sup>КАДОШНІКОВ В.М.,  
<sup>1</sup>ПИСАНСЬКА І.Р.,  
<sup>1</sup>ОДУКАЛЕЦЬ Л.А.,  
<sup>2</sup>ПЕТРЕНКО О.Д.

<sup>1</sup>ДУ «Інститут геохімії навколишнього середовища Національної академії наук України», Київ, Україна  
<sup>2</sup>ДУ «Інститут громадського здоров'я ім. О.М. Марзєєва НАМН України», Київ, Україна

ехнічний прогрес призвів до широкого використання пластику у різних сферах діяльності людини завдяки можливості надавати йому різних властивостей і економічній вигідності [1]. Це призвело до накопичення значних обсягів пластику у природі, зокрема у водах океанів наразі циркулює 5,25 трильйонів тонн пластикових частинок. Щорічно до світової акваторії потрапляє додаткових 8 мільйонів тонн пластикового сміття [2]. Під впливом сонячного світла та вологи полімери розкладаються з утворенням вторинного мікропластику, що представлений мікро- та нанорозмірними частин-

ками. Швидкість цього процесу залежить від умов довкілля, властивостей полімеру та інших факторів. Забруднення довкілля відбувається і через надходження разом з пластиком органічних речовин (фталатів, бісфенолів тощо) – компонентів полімерних матеріалів, які мігрують у навколишнє середовище у процесі деструкції пластиків. Як з'ясовано, мікро- та нанопластики (МНПл) мають високу здатність до сорбції, тобто мають здатність поглинати та утримувати хімічні речовини, тому накопичує чужорідні токсичні речовини, зокрема важкі метали, стійкі органічні забруднювачі (СОЗ), такі як поліхлоровані ди-

ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ВІДНОВЛЕННЯ ДОВКІЛЛЯ: НАНОТЕХНОЛОГІЇ ВИДАЛЕННЯ ІЗ ВОДИ МІКРО- ТА НАНОПЛАСТИКІВ

<sup>1</sup>Забулонов Ю.Л<sup>1</sup>, <sup>1</sup>Мельниченко Т.І., <sup>1</sup>Кадошніков В.М., <sup>1</sup>Писанська І.Р., <sup>1</sup>Одукалець Л.А., <sup>2</sup>Петренко О.Д.

<sup>1</sup>Державна установа «Інститут геохімії навколишнього середовища НАМН України», Київ, Україна

<sup>2</sup>Державна установа «Інститут громадського здоров'я ім. О.М. Марзєєва НАМН України», Київ

**Мета дослідження:** узагальнення наявних підходів до очищення води, що містить мікро- та нанопластики, а також розробка нового ефективного методу такого очищення для зменшення впливу мікро- та нанопластиків на довкілля і

здоров'я людини.

**Матеріали та методи дослідження:**

Об'єкт дослідження – стічна вода поліграфічного виробництва, що, крім інших поллютантів, містила мікро- та нанопластики.

Застосовано такі методи дослідження: інформаційні, ІЧ-спектрометричні, термогравіметричні, рентгенівську дифрактометрію.

**Результати:** Проведено аналіз сучасного стану видалення мікро- і нанопластиків із забруднених вод. Узагальнено наявні підходи до очищення води, яка містить мікро- та нанопластики. Визначено якісний склад нанопластиків – поліаміди, полііміди, поліоксидіазол, фторопласт. Застосування термобробки дозволило виявити у складі води термостійкі пластики (поліоксидіазол, фторо-

феніли (ПХД), поліциклічні ароматичні вуглеводні (ПАВ) та хлорорганічні пестициди, такі як ДДТ [2, 3]. Подальший токсичний вплив МНПл обумовлений не лише його безпосередньою дією, але й впливом усіх сорбованих токсичних речовин. МНПл може взаємодіяти з накопиченими хімічними сполуками та переносити їх у різні екосистеми, що викликає додаткові негативні наслідки для живих організмів, людини та середовища загалом.

Подальше забруднення екосистем призводить до включення МНПл у біологічні процеси, накопичення у живих організмах та міграції харчовим ланцюгом, що зумовлює забруднення продуктів харчування, призначених для споживання людиною [4]. Нині доведено наявність МНПл у різних харчових продуктах тваринного та рослинного походження, харчових добавках, напоях. Особливим питанням є додаткове надходження МНПл із полі-

мерних матеріалів, призначених для пакування харчових продуктів. Доведено загрозу хронічних біологічних ефектів та потенційної небезпеки для здоров'я людини, включаючи шлунково-кишкові розлади, зниження імунітету, проблеми з диханням, онкозахворювання, репродуктивні порушення тощо [5].

Зважаючи на усі зазначені аспекти, не викликає сумніву актуальність досліджень, спрямованих на розробку ефективних методів видалення МНПл із водного середовища.

**Метою нашої роботи** є узагальнення наявних підходів до очищення води, що містить мікро- і нанопластики, а також розробка нового ефективного методу такого очищення для зменшення впливу мікро- і нанопластиків на довкілля та здоров'я людини.

**Матеріали і методи.** Об'єкт нашого дослідження – стічна вода полі-

графічного виробництва, яка, незважаючи на біологічну очистку, містила, крім інших поллютантів, мікрота нанопластики.

Оцінку переваг і недоліків існуючих методів проведено шляхом аналізу результатів сучасних наукових досліджень у даній області.

Для визначення складу нанопластиків застосовано термогравіметричні дослідження. Склад залишку після випарювання і термообробки оцінювали за допомогою ІЧ-спектрометричного аналізу. Вимірювання провадили за стандартною методикою з використанням для пресування таблетки спектрально чистого броміду калію на ІЧ-спектрофотометрі UR-20.

Плазмохімічну обробку досліджуваної рідини здійснювали з застосуванням плазмохімічного реактора, міжелектродний простір якого частково заповнений гранулами заліза. На електроди протягом 30-

*пласт). Застосування тільки сорбційного (з використанням сорбентів на основі терморозширеного графіту) або тільки плазмохімічного способів є недостатньо ефективним. Розглянуто механізм активації поверхні частинок мікропластику в умовах високовольтного розряду у присутності гумінових кислот, адсорбованих на поверхні смектитів. Розроблено комплексний плазмохімічний спосіб очищення забруднених вод, який дозволяє ефективно видаляти мікро- і нанопластики із водного середовища.*

**Висновки:** Сучасна екологічна ситуація щодо забруднення водного середовища є надзвичайно несприятливою та характеризується зростаючим забрудненням мікро- та нанопластиками у поєднанні з різномірними токсичними речовинами. Через значні сорбуючі властивості посилюється токсичний вплив мікро- та нанопластиків на природне середовище і здоров'я людини. Видалення мікро- та нанопластиків і супутніх поллютантів є нагальною проблемою сучасності. Отри-

*мані результати дозволили розробити комплексний плазмохімічний спосіб очищення забруднених вод від мікро- і нанопластиків, який передбачає плазмохімічну обробку забрудненої мікро- і нанопластиками рідини, до якої попередньо додано водну дисперсію модифікованих гуміновими речовинами високодисперсних смектитів, що призводить до утворення магніточутливих агрегатів з включенням мікро- і нанопластиків, які можуть бути видалені магнітною сепарацією. Застосування цього методу є перспективним для очищення води від різномірних мікро- і нанопластиків у поєднанні з органічними забруднювачами, важкими металами та іншими речовинами, які мають потенційний екологічний ризик.*

**Ключові слова:** нанопластики, мікропластики, забруднення, плазмохімічна обробка, сорбція.

60 с подається імпульсна напруга 0,5-1,0 кВ частотою 100-200 Гц.

Дисперсію, що утворилася після плазмохімічної обробки, досліджували з застосуванням рентгенівської дифрактометрії за стандартною методикою (рентгенівський дифрактометр ДРОН-3М з використанням монохроматичного  $\text{Cu-K}\alpha$  випромінювання, параметри –  $U = 30 \text{ kV}$ ,  $I = 30 \text{ mA}$ ).

Ефективність очищення стічної води визначали за результатами вимірювання показника хімічного поглинання кисню (ХПК) за біхроматною окиснюваністю відповідно до ДСТУ ГОСТ 31859:2018 [6].

**Результати.** Мікро- і нанопластики є порівняно новими, широко розповсюдженими та агресивними забруднювачами, передусім водних об'єктів довкілля. За хімічним складом вони є неоднорідними та, крім полімерних сполук, містять різні хімічні добавки.

Основною класифікацією МНПл є їх розділення за розміром, і відповідно до цього виділяють такі категорії: «нанопластик» (від 1 нм до <100 нм), «субмікронний пластик» (від 100 нм до <1 мкм), «дрібний мікропластик» (від 1 мкм до <100 мкм), «крупний мікропластик» (від 100 мкм до <5 мм), «мезопластик» (від 5 мм до <2,5 см) та «макропластик» (понад 2,5 см) [7]. Найбільш небезпечними забруднювачами довкілля, що мають негативні наслідки для здоров'я людини, вважаються нанопластик (1-100 нм), субмікронний пластик (10 нм-1 мкм) і мікропластик (1-100 мкм). До того ж їх видалення ускладнене, а

фільтрація вимагає застосування спеціальних технологій.

Будучи унікальним типом органічних забруднювачів, мікропластики складніше піддаються деструкції через вищу молекулярну масу порівняно з іншими органічними забруднювачами з низькою молекулярною масою [8]. Для усунення МНПл із довкілля ефективними є сорбційні методи та методи з використанням плазмохімічних процесів.

Для очищення водних середовищ від мікро- і нанопластиків широко застосовують сорбційно-екстракційні методи. У роботі [9] повідомлено про видалення мікропластику із води методом магнітної екстракції. Метод ґрунтується на намагнічуванні пластику наночастинками з магнітним покриттям, що дозволяє вилучити мікропластик під дією зовнішнього магнітного поля. Удосконаленням цієї технології є застосування наноферорідин, які є колоїдами, що містять однодоменні магнітні наночастинки у рідкому неполярному носії (мінеральних оліях). Зазвичай з цією метою використовують наночастинки магнетиту ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) з середнім діаметром 10-20 нм, оскільки він має хороші магнітні властивості [9]. Суттєвим недоліком методу є забруднення водних акваторій неполярними рідинами, присутність яких може призвести до змін біологічних процесів у приповерхневому шарі.

Відоме використання композитів на основі вуглецю та магнітних матеріалів. Вуглецево-магнетитовий композит використовується як адсорбент для очищення води, яка мі-

стила МНПл. Мікропластики утримуються поверхнею композиту, після чого можуть бути успішно видалені за допомогою зовнішнього магнітного поля [10]. Металоорганічний каркасний композит ZIF-67 здатний адсорбувати мікрочастинки полістиролу із водних розчинів.

Ступінь вилучення мікропластику (масова концентрація  $5 \text{ мг/дм}^3$ ) становив 92,1% [11]. Вищу ефективність виявляють магнітні біовугільні адсорбенти, модифіковані  $\text{Mg/Zn}$  – від 94,81% до 99,46% для полістирольних мікросфер розміром 1 мкм у водному розчині (масова концентрація  $100 \text{ мг/мл}$ ) [12].

З цією ж метою застосовуються магніточутливі вуглецеві нанотрубки, які ефективно адсорбуються на поліетилені, поліетилентерефталаті і поліаміді, а усі композити, що утворилися, легко видалялися за допомогою магнітної сепарації [13]. Ймовірно, процес адсорбції МНПл є результатом електростатичної взаємодії хімічних зв'язків між мікропластиком і вуглецем [13]. Значним недоліком таких композитів, в яких магніточутливий компонент об'єднано з вугільною матрицею, є складність їх отримання і слабка спорідненість магніточутливого компонента до вуглецю. Для усунення зазначеного недоліку нами запропоновано застосування магніточутливих наносорбентів на основі терморозширеного графіту (ТРГ) [14, 15].

Крім сорбційних методів, для очищення забруднених вод від мікропластиків застосовують більш технологічні методи, складовою яких є плазмохімічна об-

ENVIRONMENTAL ASPECTS  
OF RESTORING THE ENVIRONMENT:  
NANOTECHNOLOGY FOR REMOVING  
MICRO AND NANOPLASTICS  
FROM WATER

<sup>1</sup>Zabulonov Yu.L., <sup>1</sup>Melnychenko T.I.,  
<sup>1</sup>Kadoshnikov V.M., <sup>1</sup>Pysanska I.R.,  
<sup>1</sup>Odukalets L.A., <sup>2</sup>Petrenko O.D.

<sup>1</sup>State Institution «Institute  
of Environmental Geochemistry  
of the National Academy of Sciences  
of Ukraine», Kyiv, Ukraine

<sup>2</sup>State Institution «O.M. Marzheiev Institute  
for Public Health of the National Academy  
of Medical Sciences of Ukraine».  
Kyiv, Ukraine

The goal of the research is to synthesize existing approaches for water purification containing micro- and nanoplastics while also developing a new effective method for such purification to reduce the impact of micro- and nanoplastics on the environment and human health.

**Materials and Research Methods:** The research subject included samples of wastewater from a printing facility, which among other pollutants, contained micro- and nanoplastics. Research methods applied include informational, IR spectroscopy, thermogravimetric analysis, and X-ray diffraction.

**Results:** An analysis of the current state of micro- and nanoplastics removal from contaminated water was conducted. Existing approaches for water purification containing micro- and nanoplastics were summarized. The qualitative composition of nanoplastics was determined, including polyamides, polyimides, polyoxadiazole, and fluoroplastics. The application of thermal treatment allowed the identification of heat-resistant plastics like polyoxadiazole and fluoroplastics. Using either only

sorption (with graphite-based sorbents) or only plasma chemical methods was found to be insufficiently effective.

The activation mechanism of microplastic particles in the presence of humic acids adsorbed on smectites during high-voltage discharge was examined.

A comprehensive plasma chemical method for the purification of contaminated water was developed, effectively removing micro- and nanoplastics from the aquatic environment.

**Conclusions:** The current ecological situation regarding water pollution is highly unfavorable and characterized by an increasing contamination of micro- and nanoplastics combined with various toxic substances. Due to their significant adsorption properties, micro- and nanoplastics exacerbate the toxic effects on the natural environment and human health. The removal of micro- and nanoplastics and associated pollutants is an urgent contemporary issue. The obtained results have led to the development of a comprehensive plasma chemical method for purifying contaminated water from micro- and nanoplastics. This method involves plasma chemical treatment of the contaminated liquid, to which a water dispersion of modified humic substances of high-dispersion smectites is added. This results in the formation of magnetosensitive aggregates incorporating micro- and nanoplastics, which can be removed through magnetic separation. The application of this method holds promise for the purification of water from various micro- and nanoplastics in combination with organic pollutants, heavy metals, and other substances with potential ecological risks.

**Keywords:** nanoplastics,  
microplastics, pollution, plasma  
chemical treatment, sorption.

робка. Відомою є робота [16] щодо застосування плазмового розряду для дослідження процесів змін мікропластику на основі полівінілхлориду. При цьому на поверхні мікрочастинок пластику збільшується кількість функціональних груп (гідроксилу та метилену/метилу), а зв'язки C-Cl – зменшується. Ступінь старіння, що визначається карбонільним індексом і співвідношенням кисню і вуглецю, збільшується за-

лежно від інтенсивності та тривалості окиснення у плазмі. Зістарений мікропластик характеризувався великою кількістю кисневмісних функціональних груп, меншим розміром частинок, вищою питомою поверхнею, вищою гідрофільністю і кристалічністю [16].

За результатами досліджень впливу кавітації та плазмового розряду на мікропластик (суспензія у воді частинок поліаміду)

виявлено, що частинки не руйнувалися і не мали видимих ушкоджень [17]. Дослідники дійшли висновку, що потужності плазмового розряду недостатньо для видалення мікропластику із рідини. Разом з тим, спостерігаються значні зміни поверхні частинок поліаміду та утворення суцільних мікропластичних структур [17]. Недоліком зазначеного способу є недостатній ступінь деструкції мікропластиків, що не



дозволяє застосовувати його для вилучення мікропластиків із забруднених вод.

Доволі перспективними виявляються мембранні технології для зменшення кількості пластикового «сміття» у стічних водах, насамперед тому, що можуть замінити більшість традиційних енергоємних технологій через низьке енергоспоживання, універсальність, простоту експлуатації, стабільність, можливість масштабування. Наразі триває подальша розробка їх та удосконалення, проте через недостатнє вивчення, вони ще не набули широкого застосування [18].

Зважаючи на сказане вище, перспективними методами очищення водного середовища від мікро- і нанопластиків можуть бути і сорбційно-коагуляційний метод, і плазмохімічний.

Ми поєднали зазначені методи для розробки високоефективної технології очищення забрудненої води, яка містить, крім нано-

пластиків, інші забруднювачі, що надзвичайно важко видаляються традиційними методами очищення. Як модельний зразок нами використано стічну воду поліграфічного виробництва.

З метою визначення якісного складу зразок стічних вод випарювали за температури не вище ( $140 \pm 10$ )°C, після чого проводили термообробку отриманого сухого залишку при температурі ( $550 \pm 20$ )°C протягом 3 годин. За результатами гравіметричного аналізу, маса сухого залишку (у вигляді однорідної воскоподібної маси сірого кольору), отриманого після випарювання досліджуваної рідини, становила ( $90 \pm 5$ ) мг. Після термообробки отримано залишок (у вигляді пластичної плівки, рівномірно розподіленої на внутрішній поверхні керамічної чашки), маса якого становила ( $30 \pm 2$ ) мг. Для якісної оцінки досліджуваної рідини (сухий залишок після випарювання та залишок після термооб-

робки) застосовано ІЧ-спектрометрію, результати якої представлено у таблиці. Аналіз отриманих даних свідчить про те, що в ІЧ-спектрах сухого залишку і залишку після термообробки присутні смуги поглинання, які слід віднести до коливань функціональних груп  $>Si-O-Me$  і  $>Si-OH$  ( $595 \text{ cm}^{-1}$ ,  $615 \text{ cm}^{-1}$ ,  $880 \text{ cm}^{-1}$ ). Крім того, присутні смуги поглинання, характерні для аміно- та іміногруп, що входять до складу поліамідів та поліїмідів ( $1140 \text{ cm}^{-1}$ ,  $1630 \text{ cm}^{-1}$ ). Крім зазначених функціональних груп, у спектрі сухого залишку присутня смуга поглинання карбонільної групи ( $1730 \text{ cm}^{-1}$ ), яка може бути обумовлена присутністю целюлози, в ІЧ-спектрі залишку після термообробки зазначена смуга відсутня, але проявляються смуги, яких не видно в ІЧ-спектрі сухого залишку ( $640 \text{ cm}^{-1}$ ,  $675 \text{ cm}^{-1}$ ,  $725 \text{ cm}^{-1}$ ), характерні для фторопластів.

Фільтрування досліджуваної рідини через при-

Таблиця

### Результати розшифровки ІЧ-спектрів сухого залишку стічної води, яка містить мікро- і нанопластики

Смуги поглинання ІЧ-спектрів зразків, $\text{cm}^{-1}$		
Після випарювання (не вище 140°C)	Після термообробки (550°C)	Після фільтрування через цеоліт і випарювання (не вище 140°C)
-	595	-
615	615	615
-	640	-
-	675	-
-	720	715
880	880	880
-	-	1000
1140	1150	1140
-	-	1275
1430	1430	1440
1630	1630	1630
1730	-	-
2870	2870	2860
2930	2930	2940
3430	3440	3430

родний цеоліт (клинотилоліт Сокирянського родовища) супроводжується частковим поглинанням цеолітом частинок дисперсії і, відповідно, зниженням ХПК з 196 мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup> до 127 мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>, що зумовлює зменшення маси сухого залишку після випаровування за температури не вище 140°C до (50 ± 3) мг (~44%). Вивчення ІЧ-спектра (рис. 2) показало наявність смуг поглинання (715 см<sup>-1</sup>, 1000 см<sup>-1</sup>, 1275 см<sup>-1</sup>), яких не виявлено у попередніх ІЧ-спектрах (табл.), які можна віднести до коливань кілець гетероциклу або до коливань групи С-N, що вказує на можливу присутність поліоксидіазолу [19].

Термостійке поліоксидіазольне волокно під зареєстрованою торговою маркою «Арселон» має унікальні властивості і застосовується в усьому світі для виробництва термостійких фільтрів, захисного спецодягу та аксесуарів, а також композиційних пластиків, плетених сальникових набивок та фрикційних виробів. Арселон та виробі з нього можуть тривалий час експлуатуватися за температури 250°C, у тому числі з короткочасними тепловими ударами до 400°C. Для Арселона характерна висока стійкість до дії органічних розчинників та кислот, помірна стійкість до дії розбавлених неорганічних кислот та лугів [20]. В ІЧ-спектрах сумішей Арселона з фторопластом-4 спостерігаються всі характерні смуги поліоксидіазольного волокна [19]. Такі властивості зумовлюють накопичення поліоксидіазольного пластику у довкіллі.

Таким чином, стічна вода поліграфічного вироб-

ництва виявилася складною водною дисперсією, в якій у дисперсній фазі присутні целюлоза, мікро- і наночастинки пластиків – поліаміди, полііміди, поліоксидіазол, фторопласт.

Враховуючи сказане вище, для виділення твердої фази (МНПл), частинки якої утворюють кінетично стійку систему, можливо використати сорбційні методи та методи на основі плазмохімічних процесів.

За результатами досліджень встановлено, що застосування наносорбентів на основі терморозширеного графіту (ТРГ) [14, 15] для очищення досліджуваної рідини не дозволяє знизити ХПК до нормативних вимог (показник ХПК має бути не вище 100 мг О<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>).

Для підвищення ефективності очищення досліджуваної рідини нами застосовано плазмохімічну обробку, яка призводить до незначного зниження показника ХПК (з 200 мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup> до 175 мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>). Тобто застосування лише плазмохімічної обробки теж не дозволяє досягти потрібного ступеня очищення рідини.

Для підвищення ступеня очищення досліджуваної стічної води нами запропоновано комплексний спосіб, який передбачає плазмохімічну обробку забрудненої мікро- і нанопластиками рідини, до якої попередньо додано водну дисперсію модифікованих гуміновими речовинами високодисперсних смектитів, що у результаті призводить до утворення магніточутливих агрегатів з включенням мікро- і нанопластиків, які видаляються магнітною сепарацією.

Під час проходження електричного імпульсу че-

рез рідину, що очищується, в якій присутні електропровідні гранули заліза, відбувається розпад молекул води [21] з утворенням окислювачів (радикалів ОН•) та відновників (атомів Н•), у паровій фазі утворюється озон, який під час взаємодії з атомами водню утворює радикали ОН•. Радикали, що утворилися, є ініціаторами розриву зв'язків С-С полімерного ланцюга на поверхні частинок мікро- і нанопластиків. Механізм активації поверхні частинок мікропластику такий: С-С зв'язок основного ланцюга полімеру спочатку розривається на два вуглеводневі радикали в умовах обробки, потім радикали, що утворилися, внаслідок рекомбінації утворюють хімічні сполуки з коротшим ланцюгом. Для підвищення ефективності даного процесу до системи вводять гумінові кислоти, адсорбовані на поверхні смектитів, що є додатковим джерелом активних центрів, у тому числі вільних радикалів. Гумінові речовини не беруть участь у процесах, ініційованих плазмовим розрядом, а лише контактують з еродованим металом і зі стійкими продуктами, що утворились внаслідок взаємодії розряду з водою [22]. Їхня деструкція у плазмовому факелі може призводити до формування графітоподібних структур, елементарні пакети яких подібні за будовою до графену [23], що сприяє підвищенню спорідненості модифікованих смектитів до мікро- і нанопластиків. Одночасно з активацією поверхні мікро- і нанопластиків і частковою їх деструкцією високовольтний розряд генерує у

рідині ударну хвилю, спричиняючи електрогідравлічний ефект, який призводить до руйнування металу міжелектродного завантаження і утворення мікрочастинок заліза (0,1-100 мкм), з частини яких під час взаємодії з продуктами розкладання води утворюються гідратовані форми оксидів і гідроксидів заліза, що проілюстровано рентгенівською дифрактограмою (рис. 3).

Застосування запропонованого способу дозволяє суттєво знизити вміст мікро- і нанопластиків у воді (до ХПК < 100 мг O<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>).

Додатковим ефектом є очищення забруднених вод від низькомолекулярних сполук, а також деяких важких металів (мідь, кобальт, манган, залізо тощо).

Таким чином, нами запропоновано спосіб очищення води, яка містить, крім інших поллютантів, мікро- і нанорозмірні частинки пластиків [24].

Даний метод дозволяє ефективно очищати воду, яка містить мікро- і нанопластики у поєднанні з іншими забруднювачами, що зумовлює його перспективність для подальшого використання у сучасних технологіях водочищення, особливо у випадках, коли необхідно видаляти не лише нанопластики, а й супутні поллютанти.

### Висновки

1. Сучасна екологічна ситуація характеризується зростаючим забрудненням мікро- і нанопластиками у поєднанні з різнорідними токсичними речовинами. Через значні сорбуючі властивості посилюється токсичний вплив мікро- і нанопластиків на природне середовище і здоров'я людини. Видалення мікро- і нанопластиків та супутніх поллютантів є нагальною проблемою сучасності.

2. Розроблено комплекс-

ний плазмохімічний спосіб очищення забруднених вод від мікро- і нанопластиків, який передбачає плазмохімічну обробку забрудненої мікро- і нанопластиками рідини, до якої попередньо додано водну дисперсію модифікованих гуміновими речовинами високодисперсних смектитів, що призводить до утворення магніточутливих агрегатів з включенням мікро- та нанопластиків, які можуть бути видаленими магнітною сепарацією.

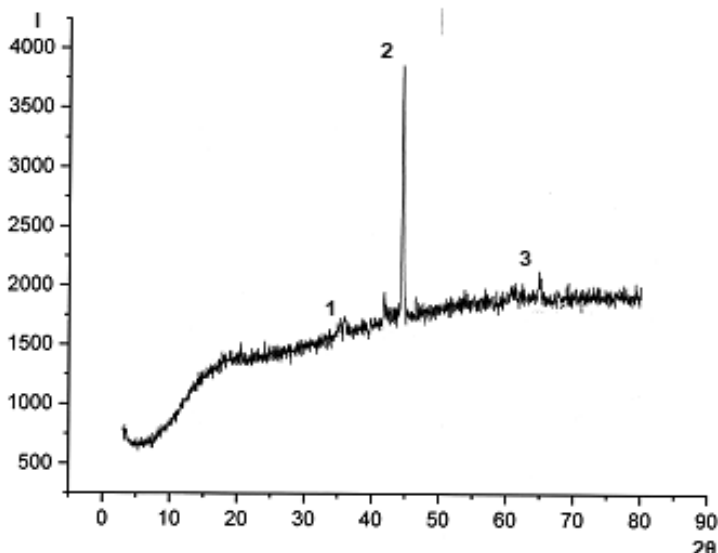
3. Застосування запропонованого методу є перспективним для очищення води від складних забруднень мікро- та нанопластиками, органічними забруднювачами, важкими металами та іншими речовинами, які мають потенційний екологічний ризик.

### REFERENCES

1. Assis GC, Antonelli R, Dantas AO, Acsc T. Microplastics as hazardous pollutants: occurrence, effects, removal and mitigation by using plastic waste as adsorbents and supports for photocatalysts. *Journal of Environmental Chemical Engineering*. 2023 Sep; 11:1107. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2023.111107>
2. Smith M, Love DC, Rochman CM, Neff RA. Microplastics in seafood and the implications for human health. *Current Environmental Health Reports*. 2018 Aug 16; 5 (3) : 375-86. <https://doi.org/10.1007/s40572-018-0206-z>
3. Khan A, Jia Z. Recent Insights into Uptake, Toxicity, and Molecular Targets of microplastics and nanoplastics relevant to Human health impacts. *IScience*. 2023 Jan

### Рентгенівська дифрактограма сухого залишку дисперсії, отриманої у результаті плазмохімічної обробки:

- 1 –  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ;  
 2 –  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ;  
 3 –  $\text{-Fe}$



- :106061.  
<https://doi.org/10.1016/j.isci.2023.106061>
4. FAO. Microplastics in fisheries and aquaculture: status of knowledge on their occurrence and implications for aquatic organisms and food safety. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations; 2017. 147 p.
5. Al Mamun A, Prasetya TA, Dewi IR, Ahmad M. Microplastics in human food chains: food becoming a threat to health safety. *Science of the Total Environment*. 2022 Oct :159834. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.159834>
6. DSTU HOST No. 31859:2018. Voda. Vyznachennia khimichnoho pohlynnannia kysniu [Water. Determination of chemical absorption of oxygen] (HOST 31859-2012, IDT; ISO 15705:2002, NEQ). Ukrainian
7. Schymanski D, Ormann BE, Benismail N, Boukerma K, Dallmann G, von der Esch E, Fischer D, Fischer F et al. Analysis of microplastics in drinking water and other clean water samples with micro-Raman and micro-infrared spectroscopy: minimum requirements and best practice guidelines. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*. 2021 Jul 20; 413(24):5969-94. <https://doi.org/10.1007/s00216-021-03498-y>
8. Chen J, Wu J, Sherrill PC, Chen J, Wang H, Zhang W, Yang J. How to build a microplastics free environment: strategies for microplastics degradation and plastics recycling. *Advanced Science*. 2022 Jan 6 ; 9 (6) : 2103764. <https://doi.org/10.1002/advs.202103764>
9. Hamzah S, Ying LY, Azmi AA, Razali NA, Hairon NH, Mohamad NA, Harun MH. Synthesis, characterisation and evaluation on the performance of ferrofluid for microplastic removal from synthetic and actual wastewater. *Journal of Environmental Chemical Engineering*. 2021 Oct ; 9 (5) : 105894. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.105894>
10. Elmaci G. Microwave-assisted rapid synthesis of C@Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> composite for removal of microplastics from drinking water. *Ad yaman University Journal of Science*. 2020 Jun 25. <https://doi.org/10.37094/adyujsci.739599>
11. Wan H, Wang J, Sheng X, Yan J, Zhang W, Xu Y. Removal of polystyrene microplastics from aqueous solution using the metal-organic framework material of ZIF-67. *Toxics*. 2022 Feb 4 ; 10 (2) : 70. <https://doi.org/10.3390/toxics10020070>
12. Wang J, Sun C, Huang QX, Chi Y, Yan JH. Adsorption and thermal degradation of microplastics from aqueous solutions by Mg/Zn modified magnetic biochars. *Journal of Hazardous Materials*. 2021 Oct; 419:126486. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.126486>
13. Tang Y, Zhang S, Su Y, Wu D, Zhao Y, Xie B. Removal of microplastics from aqueous solutions by magnetic carbon nanotubes. *Chemical Engineering Journal*. 2021 Feb;406:126804. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2020.126804>
14. Zabulonov Yu, Kadoshnikov V, Melnychenko T, Puhach O, Lytvynenko Yu, Shkapenko V, Odukalets L, inventors. [The method of removing non-polar organic liquids from the surface of natural water bodies and from man-made polluted waters using a complex magnetically sensitive nanosorbent]. Ukrainian patent 77123. 2021 Jan 13. Ukrainian
15. Zabulonov Yu, Melnychenko T, Kadoshnikov V, Kyselov Yu, Odukalets L, Puhach O, Molochko V, inventors. [The method of obtaining a magnetically sensitive nanosorbent]. Ukrainian patent 152970. 2023 May 3. Ukrainian
16. Zhou L, Wang T, Qu G, Jia H, Zhu L. Probing the aging processes and mechanisms of microplastic under simulated multiple actions generated by discharge plasma. *Journal of Hazardous Materials*. 2020 Nov ; 398 : 122956. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.122956>
17. Kluknavskó J. Elimination of nanoplastics by cavitation and advanced oxidation processes. Brno ; 2021. 41 p.
18. Kundu A, Shetti NP, Basu S, Raghava Reddy K, Nadagouda MN, Aminabhavi TM. Identification and removal of micro- and nanoplastics: efficient and cost-effective methods. *Chemical Engineering Journal*. 2021 Oct; 421:129816. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2021.129816>
19. [Study of the structure and properties of polytetrafluoroethylene reinforced with Arcelon fiber]. *Polimernyi zhurnal*. 2017 ; 39 (3) : 171-6. Russian



20. Liu P, Dong L, Wu L, Zeng L, Xu J. Structure and properties of halogen-free flame retardant and phosphorus-containing aromatic poly(1,3,4-oxadiazole)s fiber. *RSC Advances*. 2019 ; 9 (13) : 7147-55. <https://doi.org/10.1039/c8ra10071c>

21. Zabulonov YL, Burtniak VM, Odukalets LA, Alekseeva OV, Petrov SV. [Plasmachemical plant for NPP drain water treatment]. *Science and innovation*. 2018 Dec 3 ; 14 (6) : 93-101.

<https://doi.org/10.15407/scin14.06.093>. Ukrainian

22. Lobanova GL, Yurmazova TA, Shiyani LN, Machekhina KI. Electropulse treatment of water solution of humic substances in a layer iron granules in process of water treatment. IOP Conference Series: *Materials Science and Engineering*. 2016 Feb 23 ; 110 : 012098. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/110/1/012098>

23. Goncharuk VV, Klishchenko RY, Kornienko IV. Destruction of surfactants and humic substances in plazma-chemical reactor. *Research Bulletin of the National Technical University of Ukraine «Kyiv Politechnic Institute»*. 2018 Sep 11;(4):85-90. <https://doi.org/10.20535/1810-0546.2018.4.141259>

24. Zabulonov Yu, Melnychenko T, Kadoshnikov V, Nikolenko V, Puhach O, Odukalets L, Kuzenko S, inventors. [A complex plasma-chemical method of cleaning polluted waters from micro- and nanoplastics]. Ukrainian patent 152545. 2023 Mar 18. Ukrainian

Надійшло до редакції 21.09.2023

УДК 001.89/9 : 613/614

<https://doi.org/10.32402/dovkil2023.04.068>

**ANALYSIS OF THE MAIN RESULTS OF THE SCIENTIFIC RESEARCH WORKS OF THE DI «O.M. MARZIEEV INSTITUTE FOR PUBLIC HEALTH OF THE NAMS OF UKRAINE» FOR 2018-2022**  
**Rudnytska O.P., Savina R.V., Leikykh S.V., Melchenko Yu.V., Korkach V.S., Novokhatska S.M.**

**АНАЛІЗ ОСНОВНИХ ПОКАЗНИКІВ НАУКОВО-ДОСЛІДНИХ РОБІТ ДУ «ІНСТИТУТ ГРОМАДСЬКОГО ЗДОРОВ'Я ІМ. О.М. МАРЗЄЄВА НАМН УКРАЇНИ» ЗА 2018-2022 РОКИ**

**РУДНИЦЬКА О.П., САВІНА Р.В., ЛЕЙКИХ С.В., МЕЛЬЧЕНКО Ю.В., КОРКАЧ В.С., НОВОХАЦЬКА С.М.**

ДУ «Інститут громадського здоров'я ім. О.М. Марзєєва НАМН України», Київ

Виконуючи функції створення нових знань, вдосконалення освіти та підвищення якості життя людей, наука має стати основою забезпечення більш справедливого і сталого розвитку економіки.

**Наука на користь суспільству (UNESCO)**

Державна установа «Інститут громадського здоров'я імені О.М. Марзєєва НАМН України» (інститут)

**АНАЛІЗ ОСНОВНИХ ПОКАЗНИКІВ НАУКОВО-ДОСЛІДНИХ РОБІТ ДУ «ІНСТИТУТ ГРОМАДСЬКОГО ЗДОРОВ'Я ІМ. О.М. МАРЗЄЄВА НАМН УКРАЇНИ» ЗА 2018-2022 РОКИ**

**Рудницька О.П., Савіна Р.В., Лейких С.В., Мельченко Ю.В., Коркач В.С., Новохацька С.М.**

ДУ «Інститут громадського здоров'я ім. О.М. Марзєєва Національної академії медичних наук України», Київ

**Мета:** проведення порівняльного аналізу основних показників наукової діяльності інституту за 2018-2022 роки.

**Матеріали та методи:** аналіз проведено на основі публікаційної активності співробітників інституту у 2018-2022 роках та матеріалів впровадження результатів науково-дослідних робіт, представлених у щорічних звітах інституту. Обсяг документального масиву друкованої продукції інституту склав понад 1000 одиниць. Для обробки матеріалів використовувалися бібліосемантичні, аналітичні та статистичні методи.

© Рудницька О.П., Савіна Р.В., Лейких С.В., Мельченко Ю.В., Коркач В.С., Новохацька С.М. СТАТТЯ, 2023.