

© М.В. Фортуна<sup>1</sup>, О.О. Борисовська<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна

## ОЦІНКА ЗАБРУДНЕННЯ ВОДНОГО СЕРЕДОВИЩА МІКРОПЛАСТИКОМ

© M. Fortuna<sup>1</sup>, O. Borysovska<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine

## ASSESSMENT OF WATER POLLUTION BY MICROPLASTIC

**Мета.** Встановлення рівня забруднення акваторії р.Дніпро мікропластиком та розробка рекомендацій щодо його зменшення.

**Методика дослідження.** Проби води р. Дніпро після фільтрації на місці відбору через бабовняний фільтр досліджувались у лабораторних умовах за допомогою мікроскопу Andonstar AD106S. Методами математичної статистики визначені середні розміри частинок мікропластику, медіана, мода, а також характер розподілу множини значень. Аналітичним методом визначено концентрацію мікропластику у пробах річкової води у межах центральної частини міста Дніпро та загальний рівень забруднення акваторії р. Дніпро.

**Результати дослідження.** Встановлена концентрація мікропластику у досліджуваних зразках води р. Дніпро на різній відстані від місця випуску зливових стічних вод. Визначені розміри мікропластикових частинок та види пластику, що забруднюють воду. При аналізі розмірних фракцій частинок мікропластику виявлено, що кількість частинок великого мікропластику за Р. Томпсоном значно перевищує кількість частинок мезопластику. Розрахована орієнтовна кількість частинок мікропластику у поверхневій товщі води дослідженої акваторії р. Дніпро. Запропоновані рекомендації щодо зменшення забруднення водного середовища мікропластиком: заборона на використання первинного мікропластику в косметичній продукції та скорочення використання пластику в інших галузях; використання біополімерів, що швидко і відносно безпечно асимілюються доквіллям; сортування побутових відходів населенням та вторинна переробка пластику; механічне очищення стічних зливових вод перед їх скиданням у водні об'єкти.

**Наукова новизна.** Встановлена залежність концентрації мікропластику від відстані від місця випуску стічних зливових вод у р. Дніпро. Процес осадження частинок може бути описаний поліноміальною функцією третього ступеня.

**Практичне значення.** Результати досліджень дозволяють оцінити ступінь забруднення річкової води у межах міста Дніпро мікропластиком та розробити рекомендації щодо його зниження.

**Ключові слова:** мікропластик, водне середовище, гранично допустима концентрація, частинки, забруднення, безпека.

**Вступ.** Пластик являє собою універсальний та довговічний матеріал, який завдяки своїм фізико-хімічним властивостям забезпечує міцність, легкість і тривалий термін експлуатації. Широке використання пластикових виробів у промисловості та побуті зумовило виникнення проблеми накопичення пов'язаних з ними відходів. Починаючи з середини ХХ століття відзначається щорічне зростання попиту на пластикові вироби, на даний момент це близько 300 млн т/рік, при цьому 2/3 виробів з пластику – це пакувальні матеріали і предмети одноразового використання.

Основна частина пластикових відходів після використання потрапляє в навколишнє середовище, зокрема в водні екосистеми. При цьому процес повного розкладання пластику в природних умовах може займати сотні і тисячі років [1].

Особливу занепокоєність викликають фрагменти пластику, що надходять в водне середовище. Перебуваючи у воді, пластикові продукти поступово руйнуються в результаті впливу сонячного світла, окислення або фізичного хвильового впливу і течій, через що утворюється величезна кількість дрібних частинок, які останнім часом прийнято називати «мікропластиком».

У друкованих працях на даний час існує певна плутанина в термінах, яка не завжди дозволяє правильно оцінювати роль мікропластику як чинника загрози водним екосистемам. Прийнято вважати, що термін «мікропластик» вперше запропонував англійський біолог R. Thompson в 2004 р. Однак, ще в 1965 р японські вчені A. Fukami і K. Adachi (1965) стали використовувати поняття «мікропластик» в електроніці. У переважній же кількості наукових дисциплін, як і раніше, вживається назва «полімер» або «пластмаса» [2].

Як правило, зараз мікропластиком називають частинки з розміром менше 5 мм.

У деяких дослідженнях, що стосуються водних середовищ, частинки пластику поділяють за розмірами на нанопластик (<1 мкм), малий мікропластик (<1 мм), великий мікропластик (1-5 мм), мікропластик (<5 мм), мезопластик (<25 мм), макропластик (> 25 мм) і мегапластик (>1 м) [2].

В інших джерелах частинки за розмірами класифікують інакше: макропластик (більше 2 см), мезопластик (5-20 мм) і мікропластик (менше 5 мм) [3].

Найбільш розповсюдженою є наступна класифікація: невеликий мікропластик (від 0,33 до 1 мм); великий мікропластик ( від 1,01 до 4,75 мм); мезопластик (від 4,76 до 200 мм); макропластик (понад 200 мм) [4]. Ця класифікація була запропонована Річардом Томпсоном, тобто вченим, що звернув увагу наукової спільноти на існування цієї проблеми тому її використання є найбільш доцільним, на нашу думку.

**Постановка завдання.** Більшість мікропластиків містять в своїй структурі гідрофобні радикали і здатні утворювати з іншими гідрофобними речовинами, зокрема з такими як стійкі органічні забруднювачі (СОЗ), поліхлоровані біфеніли і т.п., так звані асоціати – продукти невизначеної структури. Решта мікропластиків типу полімерів молочної та гліколевої кислот у своїй молекулярній структурі крім гідрофобних радикалів містять і гідрофільні групи. Ці мікропластики можуть вступати в реакції не тільки з різними СОЗ, але і з важкими металами. В результаті приєднання молекул в цьому випадку утворюються так звані аддукти – стійкі продукти також невизначеної структури. Як показали деякі дослідження, завдяки цим властивостям концентрація зібраних на мікропластику СОЗ у морській воді може виявитися на кілька порядків вище, ніж їх природний фон. Представники водної фауни разом з мікропластиком можуть отримувати летальні дози СОЗ і гинути. Серйозні наслідки можуть очікувати і людей, що користуються в харчових цілях рибою, морськими тваринами і водоплавної дичиною [2]. Характер цих можливих наслідків ще не визначений, гранично допустима концентрація не встановлена, тому це питання потребує

глибокого та всебічного аналізу. Отже, метою даної роботи є встановлення рівня забруднення акваторії р.Дніпро мікропластиком та розробка рекомендації щодо його зменшення.

**Виклад основного матеріалу.** У межах м. Дніпро серйозним джерелом забруднення річкової води пластиком є зливовий колектор, що проходить під центром міста.

У місті є кілька балок, на дні яких протікають невеликі струмки. По ходу течії ці струмки збільшуються (за рахунок впадання в них інших струмків) та перетворюються на невеликі річки, такі як, наприклад, р. Половиця, які згодом впадають в р. Дніпро. У ХІХ ст. центр міста стрімко забудовувався і Половицю було сховано під землю. Зараз такі підземні тунелі використовуються як зливовий колектор – сюди стікають дощові води з усієї центральної частини міста. Місце скиду стічних зливових вод знаходиться в межах міста вище Центрального мосту. Злизові стічні води інтенсивно забруднені побутовим сміттям, пластиком, продуктами зносу автомобільних шин, адже їх механічне очищення перед скидом у р.Дніпро не передбачено.

Для оцінки забруднення р.Дніпро мікропластиком були відібрані проби води на п'ятьох точках, на лівому та правому березі Дніпра, вище та нижче місця випуску стічних зливових вод. Об'єм кожної проби складав 5 дм<sup>3</sup> і кожна проба була відфільтрована на місці відбору проби через бавовняний фільтр. Отриманий залишок досліджувався у лабораторних умовах за допомогою мікроскопу Andonstar AD106S.

Основні результати досліджень проб річної води на забруднення мікропластиком наведені у таблиці 1.

Таблиця 1

Результати досліджень проб води р. Дніпро на забруднення мікропластиком

Номер проби	Місце відбору проби	Загальна кількість виявлених частинок мікропластику, шт.	Об'єм проби, дм <sup>3</sup>	Концентрація частинок мікропластику у пробі, шт./дм <sup>3</sup>	Середній розмір частинок у пробі, мм
1	Набережна до місця скиду стічних вод	5	5	1	4,10 ± 1,61
2	Набережна після скиду стічних вод	17		3,4	3,29 ± 0,44
3	ж/м Сонячний, Парк Сагайдак	11		2,2	3,41 ± 0,65
4	Фестивальний причал	50		10	2,50 ± 0,12
5	Монастирський острів	2		0,4	2,50 ± 3,17
Середня кількість частинок мікропластику в пробі, шт.		17	-	Середній розмір частинок, мм	2,87 ± 0,18

Слід зазначити, що в ході проведених досліджень частинки мікропластику були зареєстровані в усіх досліджуваних зразках.

Мінімальна концентрація мікропластику ( $0,4$  шт./ $\text{дм}^3$ ) зафіксована у пробі №5, що була відібрана на Монастирському острові (рис. 1). Максимальна концентрація була зафіксована у пробі №4, вона становила  $10$  шт./ $\text{дм}^3$ . В пробах 1-3 концентрація мікропластику коливалась від  $1$  до  $3,4$  шт./ $\text{дм}^3$ . Середня концентрація мікропластику у поверхневій річковій воді в межах центральної частини міста Дніпро (протяжність більше 2-х км, ширина –  $1,5$  км) становить  $3,4$  шт./ $\text{дм}^3$ .

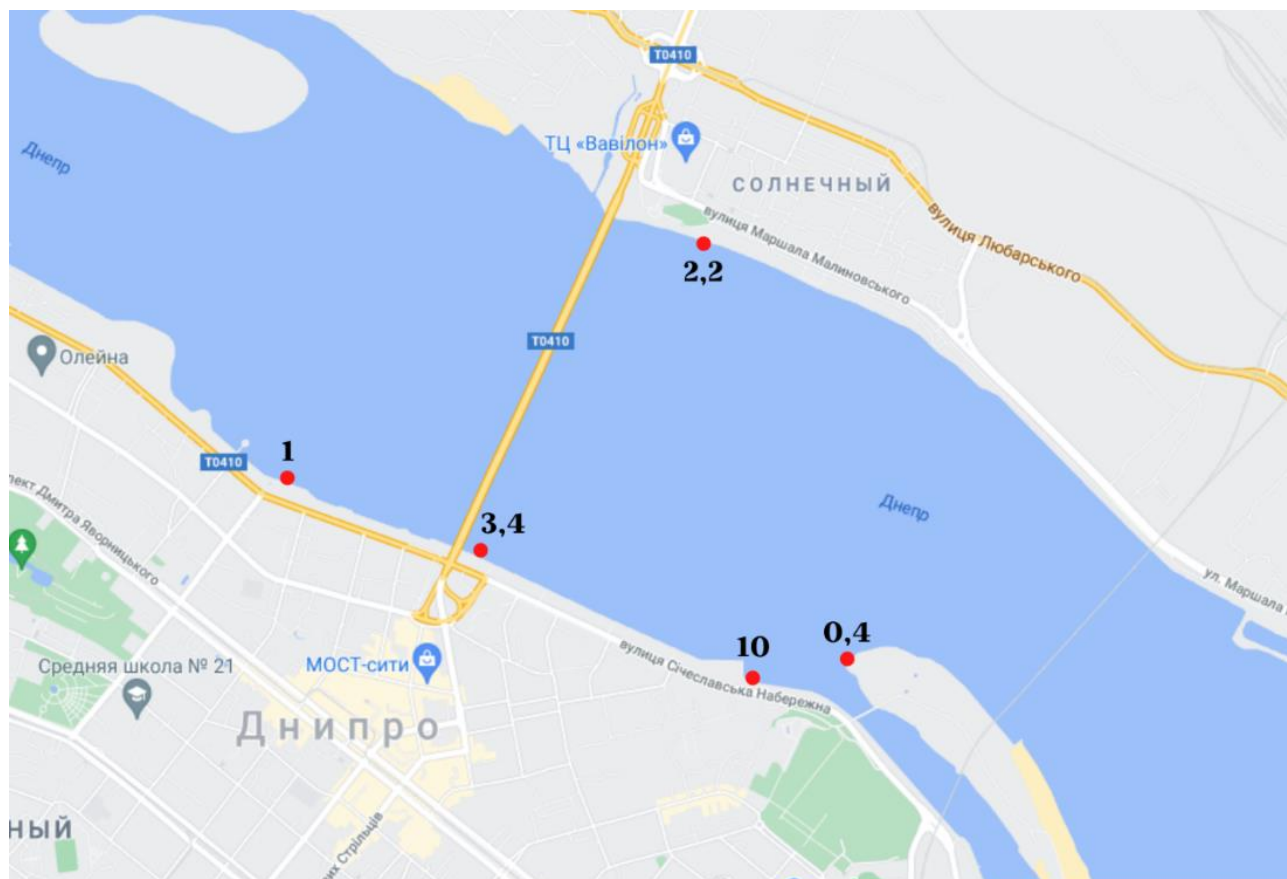


Рис. 1. Концентрація мікропластику в р. Дніпро (шт./ $\text{дм}^3$ )

Мікропластик, що забруднює природні води, можна розділити на дві підгрупи – первинний і вторинний.

До первинного мікропластику відносяться мікроскопічні частинки промислового виробництва – від гранул, призначених для виробництва пластмас до сферичних або аморфних частинок синтетичних полімерів, які використовуються при виробництві лікарських, гігієнічних і косметичних засобів (загусники, регулятори в'язкості, плівкоутворювачі, скраби, матриці для доставки активних інгредієнтів і т.п.). До вторинного мікропластику – текстильні мікрОВОлокна, абразивні матеріали лакофарбової промисловості і фрагменти більш великих пластикових предметів. Значну частину їх складають упаковка і одноразові вироби (пластиковий посуд, пляшки, контейнери для їжі), включаючи «біорозкладні» полімери [5].

Список поширених полімерів, які зазвичай виявляють в мікропластиках, наведено в таблиці 2 [6].

В аналізованих пробах було знайдено переважно мікропластик вторинного походження, тобто продукти розпаду великого пластикового сміття: пластикових пляшок; поліетиленових пакетів; одноразового посуду. Але й первинний мікропластик також зустрічався, такий як, наприклад, пінопластові кульки розміром до 3 мм (рис. 2-5).

Таблиця 2

Поширені полімери, що зустрічаються у мікропластику

Назва	Скорочення	Типова щільність (г/см <sup>3</sup> )
Пінополістирол	EPS	0,02
Поліпропілен	PP	0,89
Поліетилен	PE	0,96
Акрілонітріл-бутадієн-стирол	ABS	1,05
Полістирол	PS	1,06
Поліамід (нейлон)	PA	1,14
Полікарбонат	PC	1,21
Ацетат целюлози	CA	1,3
Полівінілхлорид	PVC	1,39
Поліетилентерефталат	PET	1,39
Політетрафторетилен	PTFE	2,2



Рис. 2. Первинний великий мікропластик

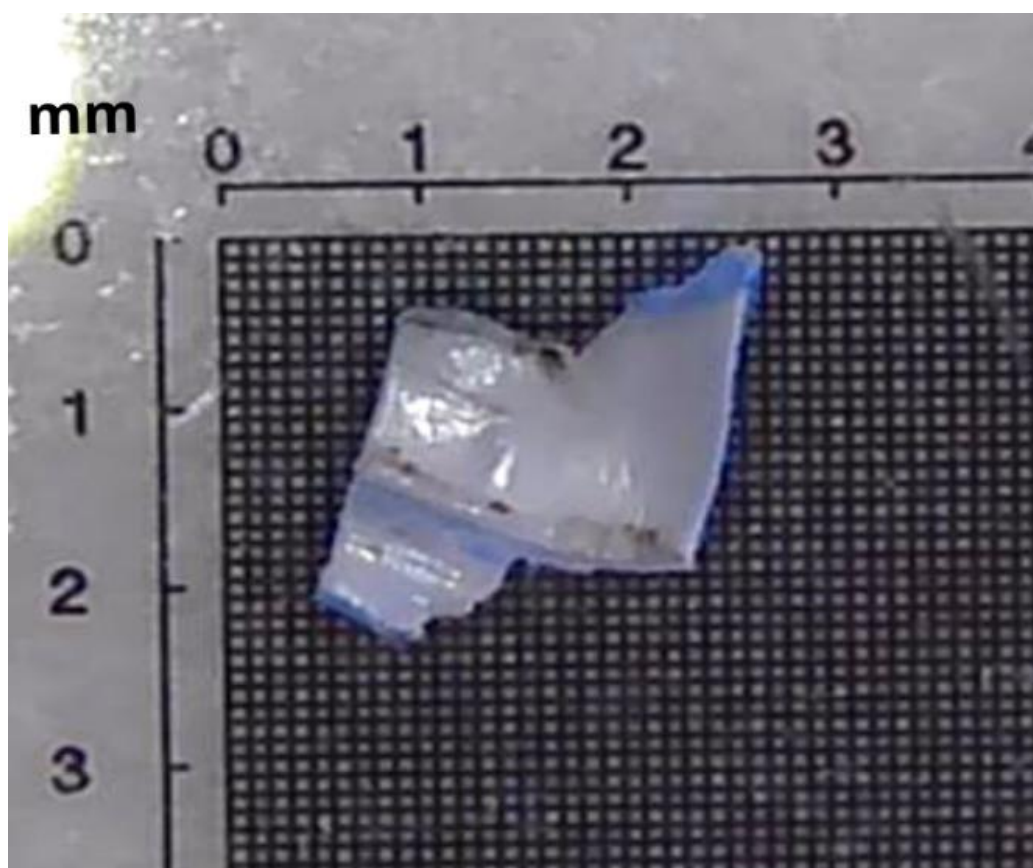


Рис. 3. Вторинний великий мікропластик

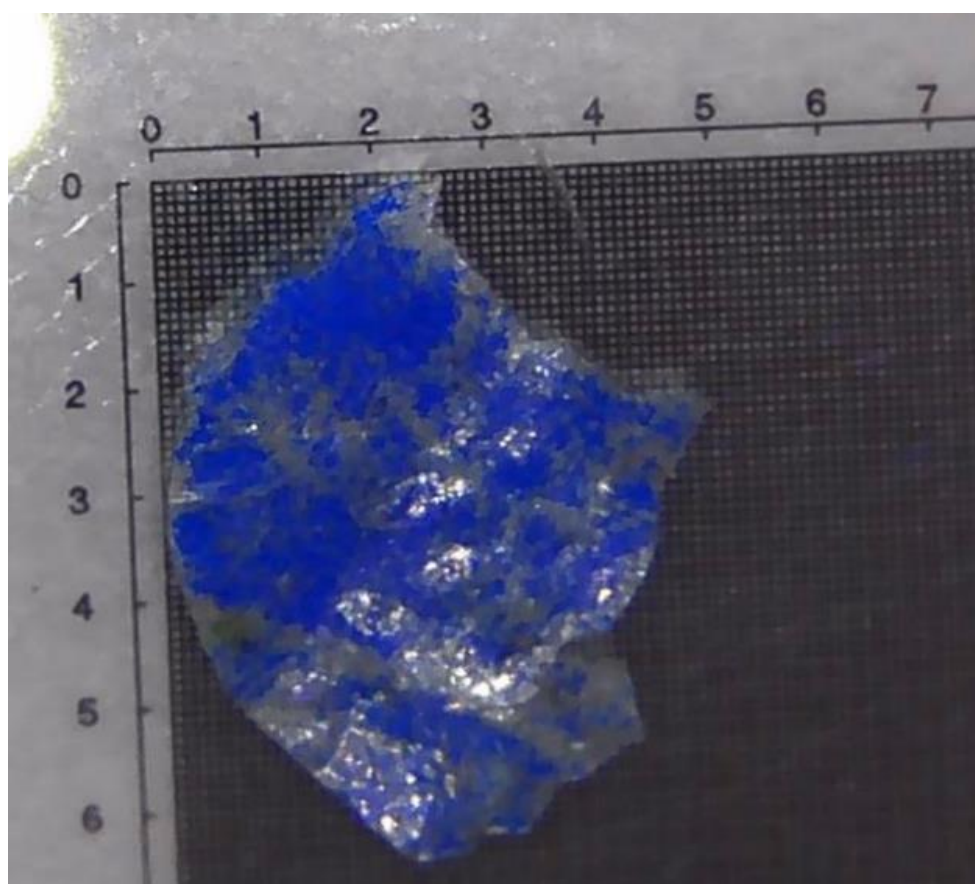


Рис. 4. Вторинний мезопластик (поліетилен)



Рис. 5. Вторинний мікро- та мезопластик

Проаналізувавши зміни концентрації мікропластику по мірі віддалення від місця випуску стічних вод, дійшли висновку, що між цими показниками існує певна залежність. Так, концентрація мікропластику стрімко зростає у річковій воді нижче місця випуску стічних вод (з 1 шт./дм<sup>3</sup> до 3,4 шт./дм<sup>3</sup> на відстані 600 м), потім сягає максимального значення (10 шт./дм<sup>3</sup> на відстані 1500-1700 м) і згодом суттєво зменшується (до 0,4 шт./дм<sup>3</sup> на відстані 2000-2200 м). Це може мати наступне пояснення: у процесі знаходження даних частинок у водній товщі, очевидно, відбувається активна сорбція різних речовин на їх поверхні. Пов'язане з цим збільшення щільності та гідравлічної крупності забезпечує прискорення процесів осадження частинок мікропластику і накопичення їх в донних відкладеннях. Отже, поступово відбувається накопичення часток пластику на дні з подальшими можливими процесами вторинного забруднення.

Процес осадження частинок може бути описаний поліноміальною функцією третього ступеня (рис. 6).

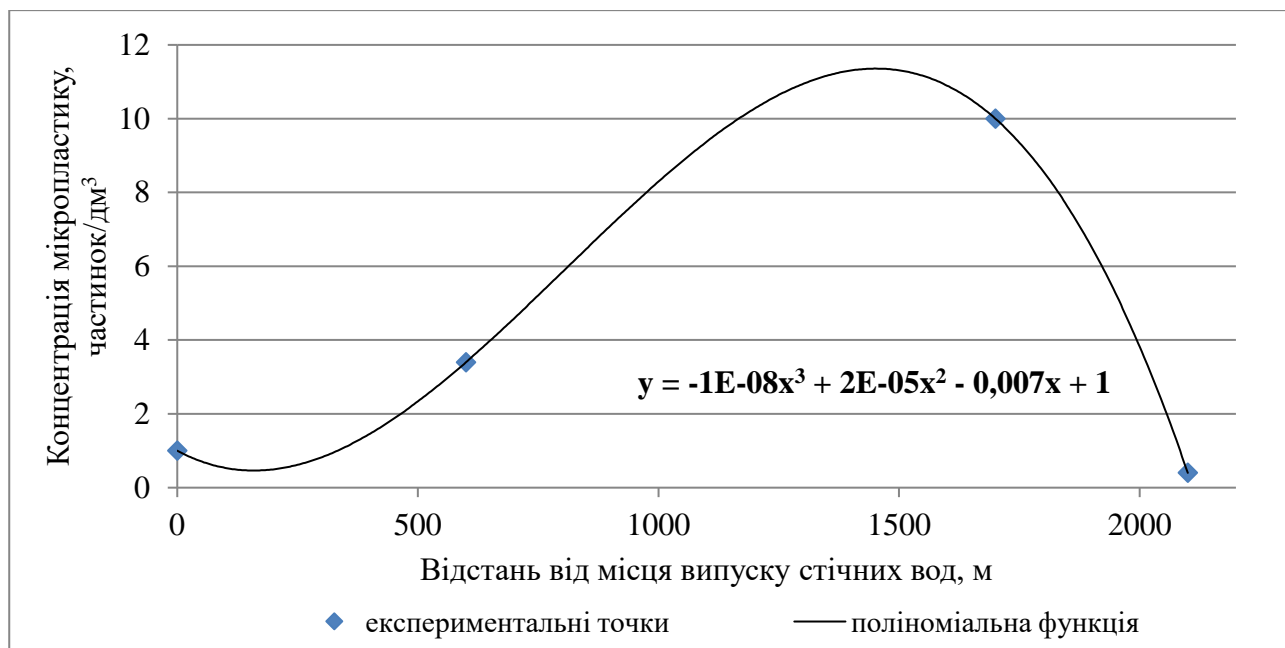


Рис. 6. Залежність концентрації мікропластику у воді від відстані від місця скиду стічних вод

При аналізі розмірних фракцій частинок мікропластику було виявлено, що кількість частинок великого мікропластику за Р. Томпсоном (від 1,01 мм до 4,75 мм) значно перевищує кількість частинок мезопластику (від 4,76 мм до 200 мм) у всіх досліджуваних зразках (рис. 7).

Отже, у досліджених зразках води пластикове забруднення представлено саме частинками великого мікропластику (від 1,01 мм до 4,75 мм). Частинки невеликого мікропластику (від 0,33 до 1 мм) не були виявлені у аналізованих пробах, проте це може бути пояснено обмеженнями обраного метода дослідження.

Середній діаметр частинок, що були знайдені у річковій воді, становить  $2,87 \pm 0,18$  мм.

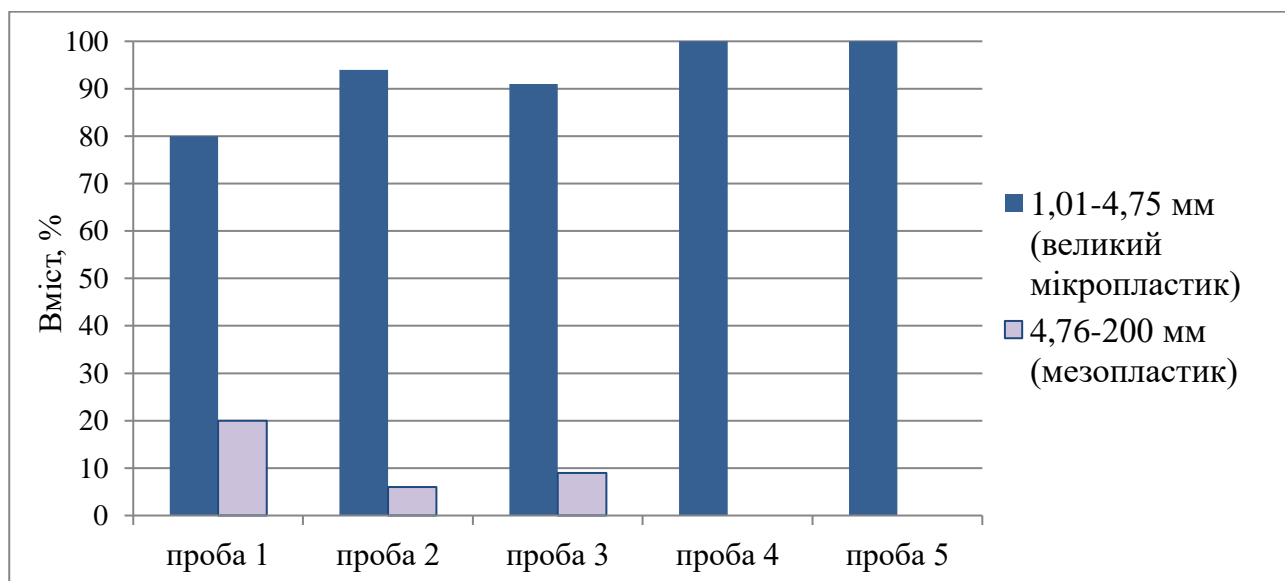


Рис. 7. Розподіл часток мікропластику за розмірами



Медіана становить 3 мм, тобто рівно половина частинок мікропластику має діаметр менший за 3 мм і рівно половина – більший за 3 мм.

Мода, тобто число, яке найчастіше зустрічається у дослідженому масиві даних, також становить 3 мм.

Той факт, що ці три основні характеристики, які використовуються для визначення центральної тенденції, не співпадають, вказує на несиметричність і зміщення розподілу множини чисел, Як видно на рис. 8, розподіл зміщено вліво. При симетричному розподілі множини чисел всі три значення центральної тенденції збігаються.

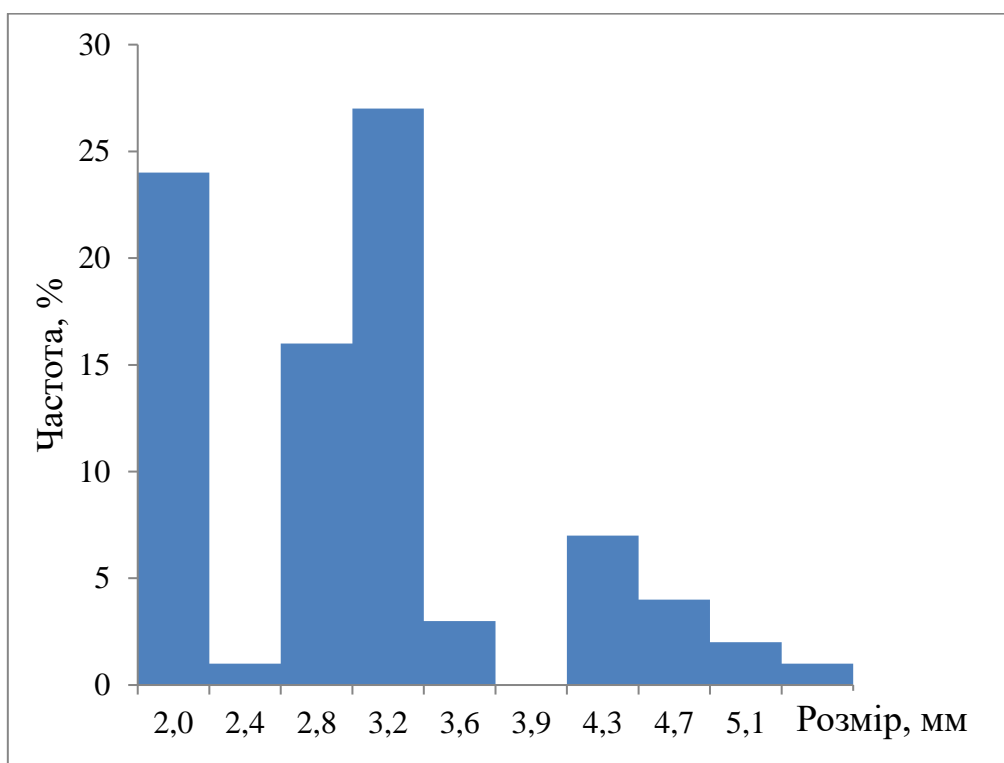


Рис. 8. Гістограма частот попадання діаметрів частинок мікропластику в зазначені інтервали значень

Як вже було вказано вище, середня концентрація мікропластику з п'яти досліджених проб становила 3,4 шт./дм<sup>3</sup>. Розміри дослідженої акваторії р. Дніпро: ширина – близько 2000 м, довжина – біля 1500 м, а отже, загальна кількість частинок мікропластику у поверхневій товщі води глибиною 1 м сягає вже приблизно 10,2 млрд шт., що викликає серйозне занепокоєння і потребує прийняття негайних заходів щодо зменшення такого типу забруднення. Враховуючи, що щільність переважної більшості видів пластику близька до щільності води (табл. 2), отже, імовірно, що більшість частинок мікропластику також знаходиться у поверхневому шарі річної води, проте це потребує подальших досліджень.

Зважаючи на те, що після утворення та попадання у навколишнє середовище мікропластик вже практично неможливо відокремити і зібрати через малі розміри частинок, основним методом боротьби з утворенням мікропластику є усунення

джерел його появи. Необхідно суттєво скоротити споживання пластику або повністю заборонити його застосування у деяких галузях промисловості.

Так, вже багато країн світу вводять заборону на використання первинного мікропластику в косметичній продукції. Штат Ілінойс став першим штатом США, де офіційно була введена заборона на використання мікропластику в косметичній продукції, з 2016 року там стало незаконно виробництво косметики, що має в своєму складі мікрочастинки пластику, а з 2019 року – їх продаж. Канада, Швеція, Франція і Великобританія зробили це в 2018 р.

Альтернативою традиційним видам пластику є використання біополімерів, що дають змогу виробляти товари з тими ж фізико-механічними властивостями, але при цьому в природних умовах перетворюються на вуглекислий газ, воду та мінералізовану сіль за значно коротший термін, не створюючи осередків довгострокового забруднення.

Також суттєво зменшити потрапляння мікропластику у довкілля можливо завдяки сумлінному сортуванню побутових відходів населенням та вторинній переробці. Більшість видів пластикової тари мають маркування у вигляді логотипу переробки – три стрілки, що йдуть одна за одною, формуючи трикутник, так звана стрічка Мебіуса, та цифри від 1 до 7. Якщо тара не містить ніякої подібної інформації, її краще не купувати – вона може бути небезпечною для здоров'я та непридатною для переробки. Пластик з маркуванням №3 (PVC) та №7 (Other) також не приймається на вторинну переробку, то ж його краще уникати.

Ще, на нашу думку, безперечно доцільним є механічне очищення стічних зливових вод перед їх скиданням у р. Дніпро за допомогою традиційних приладів, таких як решітки та сита з їх регулярною прочисткою. Вловлюючи великі пластикові предмети – такі, як пляшки, одноразовий посуд, пакування, тощо, можна попередити їх подальше руйнування в результаті впливу сонця, кисню або течій, і таким чином, запобігти мікропластиковому забрудненню, яке зібрати механічно із води майже неможливо.

**Висновки.** Забруднення водного середовища мікропластиком є небезпечним для довкілля та особливо для здоров'я людини, проте характер можливих негативних наслідків ще не визначений і ГДК не встановлена.

В усіх досліджуваних зразках води р. Дніпро були зареєстровані частинки мікропластику. Концентрація мікропластику становить від 0,4 до 10 шт./дм<sup>3</sup>, середня концентрація мікропластику у поверхневій річковій воді в межах центральної частини міста Дніпро становить 3,4 шт./дм<sup>3</sup>.

В аналізованих пробах було знайдено як первинний мікропластик (пінопластові кульки), так і вторинний мікропластик, тобто продукти розпаду великого пластикового сміття: пластикових пляшок, поліетиленових пакетів, одноразового посуду.

Встановлено залежність між концентрацією мікропластику у річковій воді та відстанню від місця випуску стічних зливових вод, яка може бути описана поліноміальною функцією третього ступеня.

Встановлено, що більшість знайдених частинок припадає на великий мікропластик (за Р. Томпосоном), тобто має розміри від 1,01 до 4,75 мм. Середній ді-

метр частинок, що були знайдені у річковій воді, становить  $2,87 \pm 0,18$  мм. Необхідні подальші дослідження розподілу частинок мікропластику у річковій воді за глибиною з метою більш точної оцінки загального забруднення р. Дніпро.

Встановлена наразі концентрація мікропластику у річковій воді викликає серйозне занепокоєння і потребує прийняття негайних заходів щодо зменшення такого типу забруднення. Можливим шляхами вирішення даної проблеми може бути: заборона на використання первинного мікропластику в косметичній продукції та скорочення використання у інших галузях; використання біополімерів, що швидко і відносно безпечно асимілюються доквіллям; сортування побутових відходів населенням та вторинна переробка; механічне очищення стічних зливових вод перед їх скиданням у водні об'єкти.

### Перелік посилань

1. Barnes, D. K. A., Galgani, F., Thompson, R. C., & Barlaz, M. (2009). Accumulation and fragmentation of plastic debris in global environments. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 364(1526), 1985-1998.  
<https://doi.org/10.1098/rstb.2008.0205>
2. Румянцев, В. А., Поздняков, Ш. Р., & Крюков, Л. Н. (2019). К вопросу о проблеме микропластика в континентальных водоемах. *Российский журнал прикладной экологии*, 2(18), 60-64.
3. Глушко, А. Е., & Беспалова, Л. А. (2021). Микропластик в пляжевых отложениях Азовского моря: морфологические и морфометрические особенности. *Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря*, 1, 99-110.  
<https://doi.org/10.22449/2413-5577-2021-1-99-110>
4. Duis, K., & Coors, A. (2016). Microplastics in the aquatic and terrestrial environment: sources (with a specific focus on personal care products), fate and effects. *Environmental Sciences Europe*, 28(1), 2.  
<https://doi.org/10.1186/s12302-015-0069-y>
5. Саванина, Я. В., Барский, Е. Л., Фомина, И. А., & Лобакова, Е. С. (2019). Загрязнение водной среды микропластиком: воздействие на биологические объекты, очистка. *Информационные технологии в науке, образовании и управлении*, 2(12), 54-58.
6. INTERTECH, C. (2020). Проблема идентификации микропластика методами молекулярной спектроскопии. *Пластические массы*, 7-8, 23-27.

### АННОТАЦИЯ

**Цель.** Установление уровня загрязнения акватории р. Днепр микропластиком и разработка рекомендации по его уменьшению.

**Методика исследования.** Пробы воды р. Днепр после фильтрации на месте отбора через хлопчатобумажный фильтр исследовались в лабораторных условиях с помощью микроскопа Andonstar AD106S. Методами математической статистики определены средние размеры частиц микропластика, медиана, мода и характер распределения множества значений. Аналитическим методом определена концентрация микропластика в пробах речной воды в пределах центральной части города и общий уровень загрязнения акватории р. Днепр.

**Результаты исследования.** Установлена концентрация микропластика в исследуемых образцах воды р. Днепр на разном расстоянии от места выпуска ливневых сточных вод. Определены размеры микропластиковых частиц и виды пластика. При анализе размерных фракций частиц микропластика было обнаружено, что количество частиц большого микропластика по Р.

Томпсону значительно превышает количество частиц мезопластика. Рассчитана ориентировочная количество частиц микропластика в поверхностной толще воды исследованной акватории р. Днепр. Предложены рекомендации по уменьшению загрязнения водной среды микропластиком: запрет на использование первичного микропластика в косметической продукции и сокращение использования в других отраслях; использование биополимеров, которые быстро и относительно безопасно ассимилируются окружающей средой; сортировка бытовых отходов населением и вторичная переработка; механическая очистка сточных ливневых вод перед их сбросом в водные объекты.

**Научная новизна.** Установлена зависимость концентрации микропластика от расстояния от места выпуска сточных ливневых вод в р. Днепр. Процесс осаждения частиц может быть описан полиномиальной функцией третьей степени.

**Практическое значение.** Результаты исследований позволяют оценить степень загрязнения речной воды в пределах города Днепр микропластиком и разработать рекомендации по его снижению.

**Ключевые слова:** микропластик, водная среда, предельно допустимая концентрация, частицы, загрязнение, опасность.

#### **ABSTRACT**

**Purpose.** To determine of the level of pollution of the Dnieper water area with microplastics and to develop recommendations for its reduction.

**The methodology of research.** Water samples of the Dnieper River after filtration at the sampling site through a cotton filter were examined in the laboratory using a microscope Andonstar AD106S. The average particle sizes of microplastics, median, mode and the nature of the distribution of the set of values were determined by the methods of mathematical statistics. The concentration of microplastics in river water samples within the central part of the city and the general level of pollution of the Dnieper River were determined by the analytical method.

**Findings.** The concentration of microplastics in the studied water samples of the Dnieper River at different distances from the place of stormwater discharge was established. The sizes of microplastic particles and types of plastic were determined. When analysing the size fractions of microplastic particles, it was found that the number of large microplastic particles according to R. Thompson significantly exceeds the number of mesoplastic particles. The estimated number of microplastic particles in the surface water of the studied water area of the Dnieper River was calculated. Recommendations for reducing the pollution of the aquatic environment with microplastics are proposed: a ban on the use of primary microplastics in cosmetic products and reducing the use of it in other industries; use of biopolymers that are quickly and relatively safely assimilated by the environment; sorting of household waste by the population and recycling; mechanical treatment of stormwater before discharge into water bodies.

**The originality.** The dependence of the concentration of microplastics on the distance from the place of discharge of wastewater in the Dnieper River has been established. The process of particle deposition can be described by a polynomial function of the third degree.

**Practical implications.** The results of the research allow to assess the degree of pollution of river water within the city of Dnipro by microplastics and to develop recommendations for its reduction.

**Keywords:** microplastic, aquatic environment, maximum permissible concentration, particles, pollution, hasard.