

<https://doi.org/10.15407/gpimo2024.02.070>

В.О. Ємельянов, чл.-кор. НАН України, д-р геол.-мін. наук,
проф., головн. наук. співроб.

e-mail: volodyasea1990@gmail.com

ORCID 0000-0002-8972-0754

Є.І. Наседкін, канд. геол. наук, ст. дослідник, ст. наук. співроб.

e-mail: nasedevg@ukr.net

ORCID 0000-0003-2633-9291

Т.С. Куковська, канд. геол.-мін. наук, ст. н. с., ст. наук. співроб.

e-mail: t.kukovska@gmail.com

ORCID 0000-0001-7532-8885

С.М. Довбиш, пров. інж.

e-mail: dovbysh@ukr.net

ORCID: 0000-0002-3542-7472

ДНУ «МорГеоЕкоЦентр НАН України»

01054, м. Київ, вул. Олесь Гончара, 55 б

ЗАСІБ ДЛЯ ЕФЕКТИВНОЇ СЕПАРАЦІЇ МІКРОПЛАСТИКОВИХ ЧАСТИНОК З ДОННИХ ВІДКЛАДІВ

Вивчення розподілу мікропластику в геологічній компоненті морських екосистем, зокрема виявлення обсягів забруднення пластиком матеріалом, визначення його типів, походження та шляхів пересування — актуальний напрям досліджень наукової світової спільноти в останні десятиліття. ДНУ «МорГеоЕкоЦентр НАН України» в рамках міжнародного проєкту «Developing Optimal and Open Research Support» for the Black Sea (DOORS) (<https://www.doorsblacksea.eu/>) проводить дослідження розподілу мікропластику в донних відкладах шельфових районів західної, а також берегових наносів північно-західної частин Чорного моря. Важливою складовою досліджень є процес підготовки проб для лабораторних аналізів, що визначається якісним вилученням з маси донних відкладів частинок мікропластику із збереженою формою і розмірами. Практика досліджень мікропластику лабораторії ДНУ «МорГеоЕкоЦентр НАН України» дозволила розробити устаткування для безконтактного переміщення проб донних відкладів. Створений на базі шліфувальної машинки експериментальний сепаратор дозволяє проводити безперервне переміщення осади протягом тривалого часу, забезпечуючи постійний рух ємності з речовиною у горизонтальній площині та її перманентні коливання з оптимальною частотою по вертикалі. Неруйнівні фізичні характеристики коливань дозволяють необмежене використання приладу впродовж часу, який необхідний для надійної сепарації зразка донних відкладів на унітарні за природою частинки та ефективного розділення їх в розчині за щільнісними характеристиками. Розмір шліфувальної платформи та наявність додаткових елементів гарантує можливість роботи з ємностями різного об'єму, форми та розміру. Подальші спеціальні експериментальні дослідження

Цитування: Ємельянов В.О., Наседкін Є.І., Куковська Т.С., Довбиш С.М. Засіб для ефективною сепарації мікропластикових частинок з донних відкладів. *Геологія і корисні копалини Світового океану*. 2024. 20, № 2: 70—81. <https://doi.org/10.15407/gpimo2024.02.070>

дозволять визначити ступінь ефективності приладу та відкриють можливості залучення його до практичних робіт з метою покращення результативності лабораторної обробки натурної речовини та поліпшення якості результатів досліджень.

Ключові слова: мікропластик, донні відклади, неруйнівні методи сепарації, лабораторне устаткування.

Вступ

Зростання обсягів виробництва полімерної продукції посилює в геометричній прогресії проблему розповсюдження в навколишньому середовищі похідної пластикових виробів — мікропластику (МП) [11, 14, 24]. Низка природних та антропогенних чинників призводить до накопичення цих частинок в акваторіях та їх акумуляції в геологічній компоненті морських екосистем. Вивчення їх розподілу — актуальний напрямок досліджень наукової світової спільноти в останні десятиліття [1, 2, 9, 13, 16, 17].

Найбільш показовими складовими геологічного середовища морів для виявлення обсягів забруднення пластиком матеріалом, визначення його типів, походження та шляхів пересування є поверхневий шар донних відкладів в межах шельфових зон.

ДНУ «МорGeoЕкоЦентр НАН України» в рамках міжнародного проекту «Developing Optimal and Open Research Support» for the Black Sea (DOORS) (<https://www.doorsblacksea.eu/>) проводить дослідження розподілу МП в донних відкладах шельфових районів західної, а також берегових наносів північно-західної частин Чорного моря. Протягом періоду досліджень 2022—2024 рр. отримано низку результатів, які дозволяють скорегувати методичну складову виявлення МП в геологічній компоненті морських екосистем. Методика аналізу проб натурної речовини сформована в ДНУ «МорGeoЕкоЦентр НАН України» та максимально наближена до відповідних методичних рекомендацій, зокрема [9, 10, 16], але має певні корегування, пов'язані з характером механічного та мінерального складу проб, технічними можливостями лабораторного устаткування та практичними навичками щодо результативності певних послідовностей виокремлення МП з проб донних відкладів.

Матеріали і методи

Робота з відібраними зразками донних відкладів включає два важливі етапи — процедуру вилучення МП з мінеральної матриці з подальшою мінімізацією кількості наявної органічної компоненти, та візуальну і апаратурну ідентифікацію частинок полімерів у складі відсепарованої речовини (кількісні та якісні показники). На сьогодні існує значна кількість методичних рекомендацій щодо аналітичної підготовки проб, виявлення та підрахунку мікрочастинок полімерів [9, 10, 16, 19].

Процедура підготовки проб [20] включає сушку, флотацію в розчині з високою щільністю для відокремлення полімерної компоненти від мінеральної, відбір найлегшої фракції, повторне відстоювання, сепарацію на розподільній воронці, витримку в пероксиді водню, обробку ізопропіловим спиртом, мікроскопічні дослідження, верифікація отриманих даних на Раман-спектроскопі. Раман-спектроскопія проводилась на апаратурній базі відділу оптики і спект-

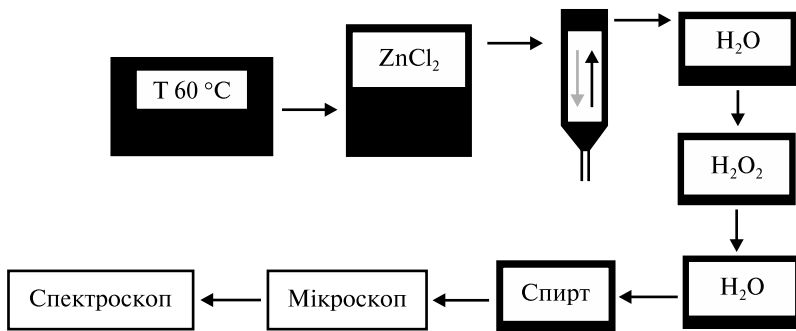


Рис. 1. Схематичне зображення етапів підготовки проб та досліджень МП у складі донних відкладів, що виконувались в ДНУ «МорґеоЕко-Центр»: сушка, сепарація в розчині хлористого цинку, попередній відбір виділеної речовини, тонкий відбір на роздільній воронці, промивка в дистилляті, відстоювання в перексиді водню, промивка в дистилляті, знежирювання в спирті, мікроскопічні дослідження сухої речовини та верифікація результатів на Раман-спектроскопі

роскопії Інституту фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова НАН України. Зокрема, в дослідженнях було задіяно однокаскадний спектроскоп MDR-23, оснащений охолоджуваним детектором CCD (Andor і Dus 420, Велика Британія) та мікроскопом «Micromed». Раманівські спектри збуджувалися випромінюванням твердотільних лазерів з довжинами хвиль 457 нм, 532 нм, 671 нм та 785 нм.

Кожен з етапів потребує визначених умов проведення та часового діапазону витримки проб. По завершенню кожної процедури проби промиваються в дистильованій воді та висушуються (рис. 1).

Мінімізація кількості природної органічної складової завислої речовини досягається шляхом відстоювання в концентрованому розчині перексиду водню 35 % [18, 15, 22]. Процеси фільтрації на кожному етапі підготовки проб проводяться через фільтрувальне поліамідне полотно з діаметром комірки 26 мкм. Це відповідає рекомендованим до вимірювання розмірам МП, наданим в [10]. Безпосередній процес визначення вилучених з проби частинок МП базується на двох етапах: 1) візуальна характеристика за допомогою оптичних приладів (мікроскоп, збільшуваче скло тощо) та 2) фізико-хімічна характеристика із застосуванням апаратурних комплексів для вірогідних фрагментів МП, що потребують підтвердження.

Дискусія

Необхідність вилучення максимально можливих обсягів політантів із зразків вимагає якісної сепарації, правильної черговості процедур та залучення ефективних методів екстракції. Зокрема, густинне розділення, що дозволяє завдяки відстоюванню проб в розчинах з високою густиною відокремити важку мінеральну та органогенну складові від полімерної компоненти, обумовлюється тим, що щільність найбільш вживаних категорій пластикових полімерів коливається в діапазоні від 0,8 до 1,4 г/см³, а мінеральних матриць осадків зазвичай — більше 2,5 г/см³. Зразок висушеного відкладу змішують з концентрованим розчином солі та перемішують різними способами протягом певного часу, що дозволяє

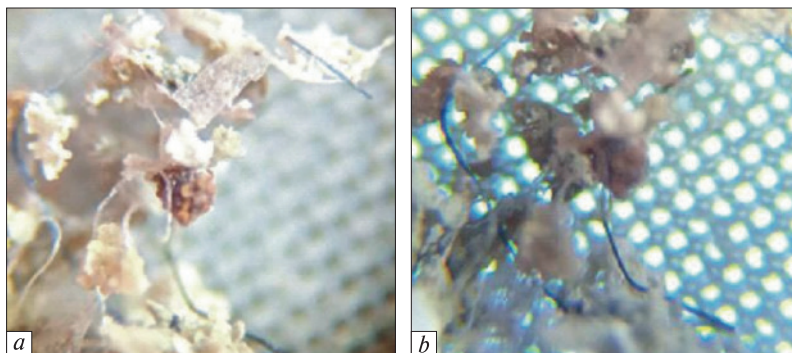


Рис. 2. Органо-мінеральний агрегат із включеннями фрагментів антропогенного генезису (*a* — верхня, *б* — нижня підсвітки). Фотографія фрагменту проби донних відкладів, відібраної в межах румунського шельфу Чорного моря (проект DOORS, науково-дослідне судно «Mare Nigrum» 2023 р., ст. № 1)

розділити пластикові частинки, що спливають на поверхню або залишаються у зваженому стані та важкі мінеральні частинки, що осідають.

Часто для екстракції МП використовується насичений розчин NaCl [3—5, 21, 26]. Використання такого реактиву обмежується невеликою густиною розчину, що не дозволяє екстрагувати низку полімерів — полівінілхлорид, поліетилентерефталат, полікарбонат, поліуретан тощо. Проведений нами аналіз літературних джерел [13, 25] щодо розподілу МП в донних відкладах морів і океанів, зокрема Чорного моря, виявив необхідність застосування розчину з суттєво більшою густиною. Для збільшення щільності розчинів використовують полівольфрамат натрію ($1,4 \text{ г/см}^3$) [8], розчин хлориду цинку ($1,5\text{—}2 \text{ г/см}^3$) [15, 18] або розчин йоду натрію ($1,8 \text{ г/см}^3$) [22]. Такі розчини високої щільності підходять для екстракції більшості пластмас, при цьому найбільш рекомендованим в літературних джерелах за хімічними, екологічними та вартісними показниками вважається використання хлориду цинку.

Збільшення густини розчину, в свою чергу, визначає необхідність перманентного перемішування зразку для прискорення процесів вивільнення мікропластикових частинок з органічної чи мінеральної матриці та підйому їх на поверхню. Визначення методики та інструментарію для цього циклу підготовки проб має велике значення. Для крихких, осілих на дно частинок полімерів, що як правило, вже зазнали впливу фізичного (сонячна радіація, динаміка хвиль), гідрохімічного та біологічного факторів, необхідне мінімальне механічне навантаження при екстракції з мінеральної складової проби. Надто активне навантаження при перемішуванні проби в хімреактиві, зокрема з використанням лопаток різного формату, може призвести до втрати цілості пластикового фрагменту і неможливості візуалізації об'єкту в цілому у зв'язку з його дефрагментацією на частинки, які проходять крізь комірки фільтра, що вплине на кількісні підрахунки МП в пробах, а саме — втрати зразків МП верхньої межі розмірності ($0,1\text{—}0,5 \text{ см}$) або наявності однотипних та однокольорових дрібних фрагментів МП в окремих пробах, як це спостерігається в пробах, відібраних в межах румунського шельфу Чорного моря (проект DOORS, науково-дослідне судно «Mare Nigrum», 2023 р., ст. № 1), де частина фрагментів МП співставна з розміром комірки фільтрувальної ткани-

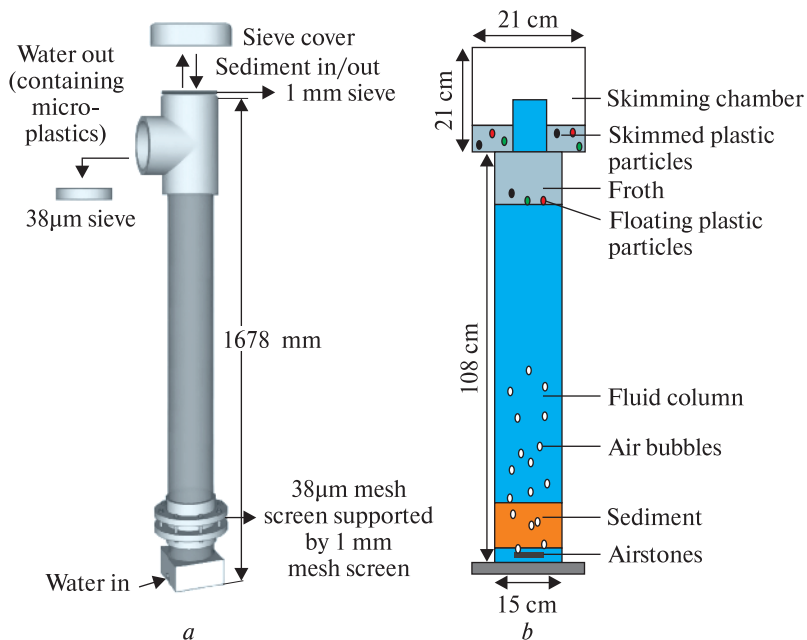


Рис. 3. Схематичні зображення колони: *a* — елютріації [6] та *б* — пінної флотації [15] для відділення МП від більш важких частинок донних відкладів

ни — 26 мкм. Це свідчить про розкладання відносно габаритних частинок МП в донних відкладах, а більш вірогідно — про їх руйнування при обробці зразків.

Іншою, зворотною проблемою є природні процеси фіксації МП в органічно-мінеральних агрегатах донних відкладів, недостатній ступінь дефрагментації яких призводитиме до «залипання» частинок полімерів у важкій фракції в ході процедури флотації і відсіювання їх разом з мінеральною складовою з проб. Дослідження засвідчили, що агрегованість фрагментів донних відкладів алеврито-пелітової складової, а саме наявність скупчень органічно-мінеральних частинок, може залишатись навіть після рідинної сепарації та утримання в розчинах для видалення органіки (зокрема H_2O_2). Мова йде про потенційні втрати для підрахунку частинок штучних полімерів, що залишилися в мінеральній матриці з щільністю, вищою за розчин для флотації (рис. 2).

Літературний пошук засвідчив, що існує широкий спектр методів екстракції МП з органічно-мінеральних агрегатів у складі донних відкладів з їх подальшим відбором.

Основні підходи передбачають такі варіанти:

1) просте перемішування зразка відкладу в речовині з високою густиною механічним шляхом чи центрифугуванням [5, 26, 23];

2) використання елютріації / флюїдизації з подальшою флотацією частинок МП в колонці для розділення донних відкладів [6, 15, 22], при цьому процес промивання (газом або рідиною) відокремлює легші частинки від більш важких за допомогою висхідного потоку (зокрема, пінна флотація заснована на здатності погано змочуваних водою гідрофобних мінеральних частинок прилипати до бульбашок повітря, які виникають при аерації пульпи та відділятися від речовини матриці, в якій вони знаходяться (рис. 3);

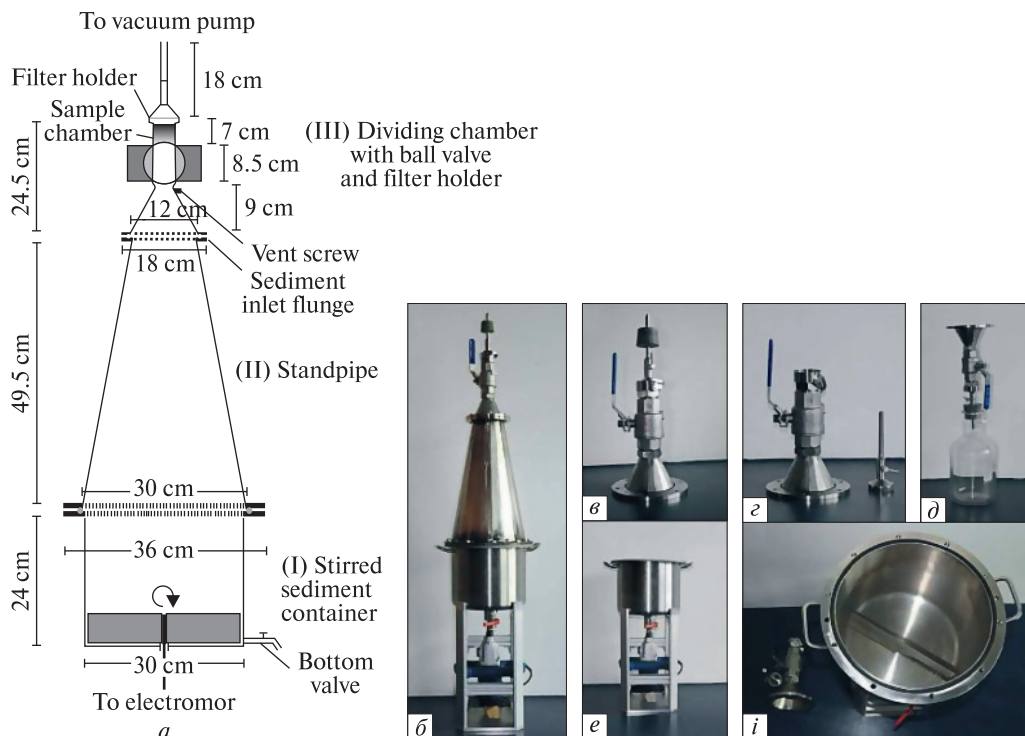
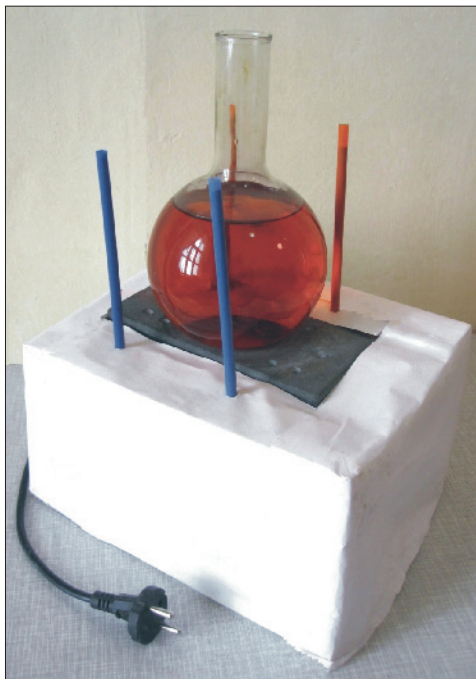


Рис. 4. Мюнхенський пластиковий сепаратор: *a* — креслення в розрізі з кульовим клапаном та вбудованою камерою для зразків і тримачем фільтра: I — контейнер для відкладу, II — стояк, III — роздільна камера; *б* — змонтований апарат, що складається з контейнера для відкладу, стояка та роздільної камери з інтегрованим тримачем фільтра та камерою для зразків та двигуном, вбудованим в алюмінієву стійку; *в* — деталь роздільної камери з встановленим тримачем фільтра; *г* — деталь роздільної камери з відокремленим тримачем фільтра; *д* — ділильна камера в режимі фільтра на колбі фільтра; *е* — деталь стійки та контейнера для відстою з двигуном і нижнім клапаном; *і* — деталь внутрішньої частини контейнера для відкладів з ротором [15]

3) екстракція за допомогою спеціально розроблених складних інструментів, таких як «Мюнхенський мікропластиковий седиментний сепаратор» (рис. 4) [15], що представляє собою єдиний комплекс для перемішування проб у розчинах з високою густиною та можливістю відбору речовини з низькою щільністю після процедури флотації.

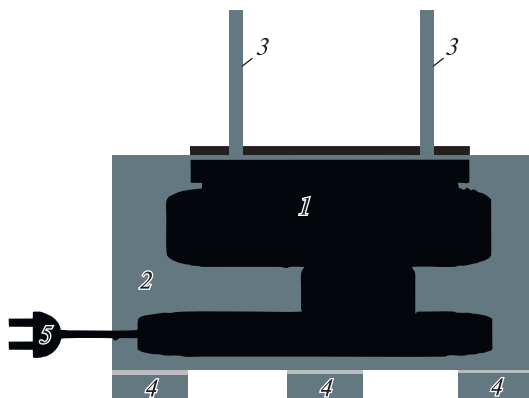
Слід зазначити, що при всіх перевагах згаданого агрегату постійне перемішування відкладу в конструкції на дні відстійника відбувається встановленим ротором, що приводиться в рух електродвигуном (14 об/хв), тобто відбувається безпосередній, хоч і повільний, механічний вплив залізних лопатей на речовину проби.

Так чи інакше, сучасні прилади для сепарації мікропластикових частинок із матриці донних відкладів достатньо коштовні у виготовленні, потребують складної комплектації та не завжди запобігають прямому механічному впливу на речовину проби. Практика досліджень МП в лабораторії ДНУ «МорГеоЕкоЦентр НАН України» також засвідчила необхідність розробки агрегату для перемішування відкладу в розчинах високої густини ($1,8 \text{ г/см}^3$) без наявного контакту елементів для перемішування (лопатки, гвинти та ін.) безпосередньо з донними відкладами та складних етапів підготовки проб (просіювання, зміна щільності



a

Рис. 5. Експериментальний сепаратор для вилучення МП з матриці донних відкладів: *a* — зовнішній вигляд; *б* — схематичне зображення конструкції (1 — шліфувальна машинка, 2 — короб-станіна для її кріплення, 3 — фіксатори ємності з пробою на платформі шліфувальної машинки, 4 — гумові підкладки, що запобігають пересуванню сепаратора по площині під власною вібрацією; 5 — з'єднання з джерелом електроживлення)



б

розчину). В теоретичну основу конструювання безконтактного приладу для перемішування було покладено принцип створення гідродинамічних збурень в речовині для сепарації проби донних відкладів та ефективного вилучення з неї частинок невисокої щільності завдяки впливу осциляційних ефектів — заданих рухів фізичної природи, для яких спостерігається певний діапазон та повторюваність у часі. При цьому вібраційно-акустична активація ємності з пробою в розчині хлористого цинку має генеруватись зовнішнім джерелом коливань, з неруйнівним діапазоном частот, тисків та температур і формувати одночасний рух частинок в різних проєкціях.

Дослідження та експериментальні роботи засвідчили доцільність підбору готових побутових приладів з оптимальними характеристиками для пошуку рішення цієї задачі та створення відповідної установки, що значно спрощує процедуру конструювання готового приладу.

Зокрема, практичним інструментом для вирішення цих задач, хоча і з певними зауваженнями і обмеженнями, низка дослідників розглядає ультразвукові ванни [12, 27]. Ці прилади, генеруючи високочастотні хвилі, утворюють в рідині дрібні бульбашки, які контактують з речовиною донних відкладів, розкладаючи агреговані частинки на окремі компоненти. Процес відбувається завдяки механічним коливанням і забезпечує ефективність за допомогою комбінації трьох параметрів: кавітації (утворенні бульбашок), ультразвукового потоку відповідної частоти та потужності. Часто ультразвукові очисники обладнані обігрівачами та оснащені дегазаторами. Також умовою ефективності вважається якісна хвилюва розгортка, що разом з розсіюванням різної частоти та довжиною хвилі ефективно впливає на активні та мертві зони в ємності для очищення. Це призводить до більш рівномірного та ефективного руйнування матриці відкладів.

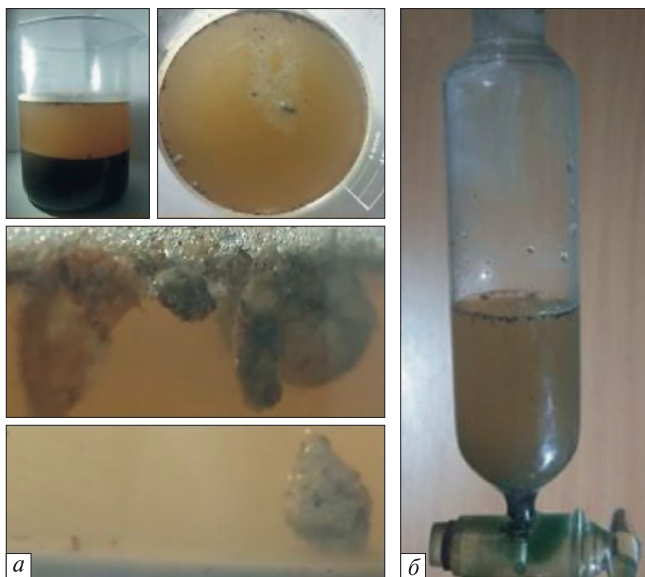


Рис. 6. Процес первинної сепарації зразків донних відкладів у розчині хлористого цинку на прикладі проби з шельфової ділянки західної частини Чорного моря: *а* — проба до перемішування на віброплатформі нашої конструкції, *б* — після (білі кульки — черепашки з закритими стулками, вкриті органічними утвореннями, що дозволяє їм утримуватись на поверхні розчину)

Але більшість ультразвукових столів та ванн працює від перших десятків до перших сотень кГц. Дослідники роблять припущення, що при таких частотах існує ризик руйнування частинок полімерів, що вже зазнали критичної фази розкладання своєї структури під дією природних факторів. Останнє підтверджує і те, що системи ультразвукової обробки зразків залучаються в процеси переданалітичної обробки речовини при седиментаційному аналізі на седиментографах для руйнування агрегованих утворень до розкладання їх на первинні складові [7, 15].

Необхідність зменшення частоти коливань, створення умов руху частинок при перемішуванні в різних напрямках, запобігання зайвим переливанням рідини з пробою між різними ємностями, що зменшує ризик втрати зразків, та умови тривалої роботи установки обумовили підбір нами в якості робочого приладу шліфувальної машинки — класу електроінструментів для шліфування та полірування поверхонь з різних матеріалів. Експериментальні дослідження показали успішне використання двох типів таких інструментів — ексцентрикових та плоскошліфувальних приладів.

Робочим вузлом плоскошліфувальної машини є прямокутна подошва, а процес шліфування здійснюється шляхом швидких зворотно-поступальних рухів подошви, робочий вузол ексцентрикової (орбітальної) шліфувальної машини — кругла подошва. При цьому шліфування здійснюється двома видами одночасних рухів подошви: обертання по орбіті та навколо своєї осі. Діапазон рухів робочої поверхні таких інструментів близько 10—20 тис. коливань на хвилину (150—300 Гц) з амплітудою близько 2—2,5 мм), що цілком задовольняє необхідним умовам.

Зокрема, створений нами на базі шліфувальної машинки експериментальний сепаратор, дозволяє проводити безперервне перемішування відкладів протягом тривалого часу, забезпечуючи постійний рух ємності з речовиною у горизонтальній площині (70 об/хв) та її постійні коливання з частотою 160 Гц по вертикалі (рис. 5).

Неруйнівні фізичні характеристики коливань дозволяють необмежене використання приладу протягом всього часу, який необхідний для надійного розділення маси донних відкладів зразка на унітарні за природою частинки та ефективного розділення їх за щільнісними характеристиками в розчині. Розмір шліфувальної платформи (90—190 мм) гарантує можливість роботи з ємностями різного об'єму, а наявність обмежувачів границь руху — фіксацію на платформі посудин різної форми та розміру.

Наявність такого сепаратору, відокремленого від ємності зі зразком, дає можливість послідовного проведення операції для декількох зразків у різній тарі, залучення приладів для роботи зі зразками на наступних етапах досліджень, зокрема перемішування речовини при відстоюванні в пероксиді водню. Одночасно така операція виключає прямий механічний вплив на речовину зразку засобів для перемішування (лопати, лопатки та ін.), обмежуючи частинки рухом за умов гідродинамічного збурення, тертям між собою та об стінки посудини.

Показовим є цикл сепарації, наведений на рис. 6, *а*. Відсутність якісного процесу первинної сепарації зразків в розчині хлористого цинку до перемішування дозволяє спливати в процесі флотації органогенним утворенням — стулкам черепашок, і навпаки, утримувати в пробі напівзавислими на дні візуально ідентифіковані частинки полімерів. При щільності фрагментів, близької до густини розчину для флотації, вплив найменших сил здатен вносити похибку в перебіг досліджень. Після обробки проби на віброплатформі нашої конструкції (рис. 6, *б*) можна спостерігати розподілення за щільністю деагерованих частинок вже в роздільній воронці.

Висновки

Важливою базовою складовою, на рівні з процедурами оптичної ідентифікації та верифікації МП на спектрометрах є процес підготовки проб, що передбачає максимальне вилучення з маси донних відкладів наявного там МП із збереженою формою і розмірами. Одним з елементів цієї процедури є створення умов якісного та неруйнівного перемішування проби в роздільних розчинах високої густини. Практика досліджень МП в лабораторії ДНУ «МорГеоЕкоЦентр НАН України» дозволила розробити агрегат для перемішування відкладу, уникаючи безпосереднього контакту його елементів з донними відкладами та складних етапів підготовки проб. Створений на базі шліфувальної машинки експериментальний сепаратор, дозволяє проводити безперервне перемішування осадків протягом тривалого часу, забезпечуючи постійний рух ємності з речовиною у горизонтальній площині та її перманентні коливання з оптимальною частотою по вертикалі.

Неруйнівні фізичні характеристики коливань дозволяють необмежене використання приладу протягом часу, який необхідний для надійної сепарації зразка донних відкладів на унітарні за природою частинки та ефективного розділення їх за щільнісними характеристиками в розчині. Розмір шліфувальної платформи та наявність додаткових елементів гарантує можливість роботи з ємностями різного об'єму, форми та розміру. Завдяки відокремленню сепаратора від ємності зі зразком, утворюється можливість послідовного проведення операції для декількох проб у різній тарі, залучення приладів для роботи з донними відкладами на наступних етапах досліджень, зокрема перемішування речо-

вини при відстоюванні в перексиді водню. Одночасно така операція виключає прямий механічний вплив на речовину засобів для перемішування (лопасті, лопатки та ін.), обмежуючи частинки рухом за умов гідродинамічного збурення, тертям між собою та об стінки судини.

Подальші спеціальні експериментальні дослідження дозволять визначити ступінь ефективності приладу та відкриють можливість залучення його до практичних робіт з метою покращення результативності лабораторної обробки натурної речовини.

Проведення досліджень за відповідною науковою тематикою стало можливим завдяки підтримці Європейським проєктом за програмою Horizon 2020 DOORS (Developing Optimal and Open Research Support), грантовий договір 101000518.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Andrady A.L. Microplastics in the marine environment. *Marine Pollution Bull.*, 2011. № 62. P. 1596—1605.
2. Andrady A.L. The plastic in microplastics: a review. *Marine Pollution Bull.*, 2017. № 119 (1). P. 12—22.
3. Browne M.A., Crump P., Niven S.J. et al. Accumulations of microplastic on shorelines worldwide: sources and sinks *Environ. Sci. Technol.*, Just Accepted Manuscript, 2011. № 45 (21). P. 9175—9179. <https://doi.org/10.1021/es201811s>
4. Browne M.A., Galloway T.S., Thompson R.C. Spatial Patterns of Plastic Debris along Estuarine Shorelines. *Environmental Science & Technology*, 2010. № 44 (99). P. 3404—3409. <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/es903784e>
5. Claessens M., Meester S., Van Landuyt L. et al. Occurrence and distribution of microplastics in marine sediments along the Belgian coast. *Marine Pollution Bull.*, 2011. № 62 (10). P. 2199—2204. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2011.06.030>
6. Claessens M., Van Cauwenbergh L., Vandegehuchte M.B. et al. New techniques for the detection of microplastics in sediments and field collected organisms. *Marine Pollution Bull.*, 2013. № 70 (1—2). P. 227—233. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2013.03.009>
7. Cooper D.A., Corcoran P. Effects of mechanical and chemical processes on the degradation of plastic beach debris on the island of Kauai, Hawaii. *Marine Pollution Bull.*, 2010. № 60 (5). P. 650—654. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2009.12.026>
8. Corcoran P.L., Biesinger M.C., Griff M. Plastics and beaches: A degrading relationship. *Marine Pollution Bull.*, 2009. № 58 (1). P. 80—84. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2008.08.022>
9. Galgani F, Hanke G., Werner S. et al. Guidance on Monitoring of Marine Litter in European Seas MSFD Technical Subgroup on Marine Litter. Publications Office of the European Union, 2013. 128 p. <https://doi.org/10.2788/99475>
10. Galgani F, Ruiz Orejon Sanchez Pastor L., Ronchi F. et al. Guidance on the Monitoring of Marine Litter in European Seas An update to improve the harmonized monitoring of marine litter under the Marine Strategy Framework Directive. Publications Office of the European Union, 2023. 195 p. <https://doi.org/10.2760/59137>
11. Geyer R., Jambeck J.R., Law K.L. Production, use, and fate of all plastics ever made. *Science Advances*, 2017. № 3 (7). P. 608—612. <https://doi.org/10.1126/sciadv.1700782>
12. Goli V.S.N.S., Singh D.N. Effect of ultrasonication conditions on polyethylene microplastics sourced from landfills: A precursor study to establish guidelines for their extraction from environmental matrices. *Journal of Hazardous Materials*, 2023. № 459 (5). <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2023.132230>
13. Hidalgo-Ruz V., Gutow L., Thompson R.C., Thiel M. Microplastics in the Marine Environment: A Review of the Methods Used for Identification and Quantification. *Environmental Science and Technology*, 2012. № 46 (6). P. 3060—3075. <https://doi.org/10.1021/es2031505>

14. Hoornweg D., Bhada-Tata P. What a waste: a global review of solid waste management. *Urban Development Series*, 2012. V.15. 116 p.
15. Imhof H.K., Schmid J., Niessner R. et al. A novel, highly efficient method for the separation and quantification of plastic particles in sediments of aquatic environments. *Limnology and Oceanography: Methods*. V. 10 (7). P. 524—537. <https://doi.org/10.4319/lom.2012.10.524>
16. Kershaw P.J., Turra A., Galgani F. et al. Guidelines or the monitoring and assessment of plastic litter and microplastics in the ocean Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection. Rep. Stud. GESAMP, 2019. № 99, 130 p. <https://archimer.ifremer.fr/doc/00585/69677/>
17. Lambert S., Wagner M. Microplastics are contaminants of emerging concern in freshwater environments: an overview. *Freshwater Science*, 2016. № 36 (2). P. 251—268.
18. Liebezeit G., Dubaish F. Microplastics in Beaches of the East Frisian Islands Spiekeroog and Kachelotplate. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 2012. № 89 (1). P. 213—217. <https://doi.org/10.1007/s00128-012-0642-7>
19. Masura J., Baker J., Foster G. et al. Laboratory methods for the analysis of microplastics in the marine environment: recommendations for quantifying synthetic particles in waters and sediments. NOAA Technical Memorandum NOS-OR&R-48. 2015. P. 39.
20. McDermid K.J., McMullen T.L. Quantitative Analysis of Small-Plastic Debris on Beaches in the Hawaiian Archipelago. *Marine Pollution Bull.*, 2004. № 48 (7—8). P. 790—794. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2003.10.017>
21. Ng K.L., Obbard J.P. Prevalence of microplastics in Singapore's coastal marine environment. *Marine Pollution Bull.*, 2006. № 52 (7). P. 761—767. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2005.11.017>
22. Nuelle M.-T., Dekiff J.H., Remy D., Fries E. A new analytical approach for monitoring microplastics in marine sediments. *Environmental Pollution*, 2014. V. 184. P. 16—169. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2013.07.027>
23. Phuong N.N., Poirier L., Quoc T. Q. et al. Factors influencing the microplastic contamination of bivalves from the French Atlantic coast: Location, season and/or mode of life? *Marine Pollution Bull.*, 2018. № 129 (2). P. 664—674. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0025326X17309001>
24. Plastics — the Facts. *Plastics Europe*. 2018. 60 p. <https://plasticseurope.org/wp-content/uploads/2021/10/2018-Plastics-the-facts.pdf>
25. Pojar I., Stanica A., Stock F. et al. Sedimentary microplastic concentrations from the Romanian Danube River to the Black Sea. *Scientific Reports*, 2021. V. 11 (1). <https://doi.org/10.1038/s41598-021-81724-4>, www.nature.com/scientificreports
26. Thompson R.C., Olsen Y.S., Mitchell R. P. et al. Lost at Sea: Where Is All the Plastic? *Science*, 2004. V. 304, № 5672. P. 838. <https://doi.org/10.1126/science.1094559>
27. Wagner J., Wang Z.-M., Ghosal S., Rochman C. Novel method for the extraction and identification of microplastics in ocean trawl and fish gut matrices. *Analytical Methods*, 2017. V. 9 (9). P. 1479—1490. <https://doi.org/10.1039/c6ay02396g>

Стаття надійшла 19.09.2024

V.O. Iemelianov, NAS Corresp. Member, Dr. Sci. (Geol. & Mineral.), Prof., Chief Researcher
e-mail: volodyasea1990@gmail.com

ORCID 0000-0002-8972-0754

Ye.I. Nasiedkin, PhD (Geol.), Senior Researcher

e-mail: nasedevg@ukr.net

ORCID 0000-0003-2633-9291

T.S. Kukovska, PhD (Geol. & Mineral.), Senior Researcher

e-mail: t.kukovska@gmail.com

ORCID 0000/0001/7532/8885

S.M. Dovbysh, Leading Engineer

e-mail: dovbysh@ukr.net

ORCID 0000-0002-3542-7472

MorGeoEcoCenter NAS of Ukraine

55b, Oles Honchar srt., Kyiv, Ukraine, 01054

METHOD FOR EFFECTIVE SEPARATION OF MICROPLASTIC PARTICLES FROM BOTTOM SEDIMENTS

The study of the distribution of microplastics in the geological component of marine ecosystems, in particular, the detection of the amount of pollution by plastic material, the determination of its types, origin and routes of movement is a relevant direction of research of the scientific world community in recent decades. The SSI «MorGeoEcoCenter of the National Academy of Sciences of Ukraine» within the framework of the international project «Developing Optimal and Open Research Support» for the Black Sea (DOORS) (<https://www.doorsblacksea.eu/>) conducts research on the distribution of microplastics in the bottom sediments of the shelf areas of the western parts, as well as coastal deposits of the northwestern part of the Black Sea. An important component of the research is the process of sample preparation for laboratory analyses, which determines the qualitative extraction of microplastic particles with preserved shape and size from the mass of bottom sediments. The practice of microplastic's research in the laboratory of SSI «MorGeoEcoCenter» made it possible to develop equipment for non-contact mixing of bottom sediment samples. The experimental separator created on the basis of a grinding machine allows continuous mixing of sediments, ensuring constant movement of the container with the substance in the horizontal plane and its permanent oscillations with an optimal frequency in the vertical. The non-destructive physical characteristics of oscillations allow the unlimited use of the device for the term that is necessary for the reliable separation of the mass of the bottom sediments of the sample into particles that are unitary in nature and their effective separation by density characteristics in the solution. The size of the grinding platform and the availability of additional elements guarantee the ability to work with containers of various volumes, shapes, and sizes. Further special experimental studies will determine the degree of efficiency of the device and open up the possibility of its involvement in practical work to improve the efficiency of laboratory processing of natural substances and improve the quality of research results.

Keywords: microplastics, bottom sediments, non-destructive separation methods, laboratory equipment.