

<https://doi.org/10.15407/gpimo2023.02.063>

**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. співр.

E-mail: nasedevg@ukr.net

ORCID 0000-0003-2633-9291

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

E-mail: t.kukovska@gmail.com

ORCID 0000-0001-7532-8885

01054, Київ, вул. Олеся Гончара, 55-б

**І.М. Шураєв**, канд. геол. наук, учений секретар

E-mail: shuraev@nas.gov.ua

ORCID 0000-0002-6289-8632

**О.А. Митрофанова**, аспірантка

E-mail: mitrof\_ol@ukr.net

ORCID 0000-0001-5971-9122

ДНУ "МорГеоЕкоЦентр НАН України"

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

## БУКСОВАНА ДРАГА ДЛЯ ВІДБОРУ МІКРОПЛАСТИКУ З ПОВЕРХНІ ДНА ШЛЯХОМ ЩІЛЬНІСНОГО РОЗДІЛЕННЯ

---

*У публікації висвітлено проблемні питання, пов'язані з необхідністю створення ефективного устаткування для відбору з поверхні дна акваторії одного з відносно нових видів забруднювачів водних екосистем — мікропластику (далі — МП). Розглянуто існуючі методи та знаряддя для його відбору, визначено їх переваги та недоліки. Запропоновано конструкцію приладу з відбору МП з поверхневих донних відкладів, альтернативну існуючим варіантам. Методичний підхід до створення такої конструкції ґрунтується на доцільності одночасного проведення площинного відбору зразків за допомогою буксировки приладу з первинним розподілом речовини донних відкладів у процесі пробовідбору за рахунок щільнісного розділення. Це досягається впровадженням низки конструктивних рішень, що дозволяють не тільки проводити відбір верхнього напіврідкого шару донних осадків, але й відокремлювати важку мінеральну компоненту, проводячи цільовий відбір речовини з низькою щільністю, включно з МП. Методично необґрунтованими залишаються деякі питання, зокрема, можливість перерахунку кількості частинок МП на одиницю об'єму речовини донних осадків, їх вирішення полягає у проведенні тривалих експериментальних робіт. Принцип дії приладу, виходячи з проведеного аналізу літературних джерел, не має аналогів, і, в разі успішного завершення експериментальних випробувань, пробовідбірник може стати ефективним і, одночасно, доступним інструментом досліджень поверхні дна акваторії в майбутньому.*

**Ключові слова:** мікропластик, донні відклади, драга, сепарація, екологічні дослідження.

---

Цитування: Ємельянов В.О., Наседкін Є.І., Куковська Т.С., Шураєв І.М., Митрофанова О.А. Буксована драга для відбору мікропластику з поверхні дна шляхом щільнісного розділення. *Геологія і корисні копалини Світового океану*. 2023. **19**, № 2: 63—71. <https://doi.org/10.15407/gpimo2023.02.063>

## **Вступ**

Полімерні відходи, як побічний продукт промислового виробництва споживчих товарів з невинним зростанням обсягу утворення, є джерелом постійного забруднення довкілля. Фізико-хімічна стійкість пластику і його довготривалий вплив на морські геоєкосистеми, зокрема, накопичення в морській біоті, вже понад півстоліття викликають суттєве занепокоєння фахівців-екологів. Це спонукає науковців створювати теоретичне підґрунтя і проводити велику кількість різнопланових натурних досліджень щодо вивчення розподілу пластикового сміття та МП в акваторіях річок, морів і океанів.

Загальновідомо, що кінцевим середовищем накопичення синтетичних полімерів, як і багатьох інших поліютантів, є морські та океанічні екосистеми, зокрема, їх важлива складова — донні осадки. Фахівцями Державної наукової установи «Центр проблем морської геології, геоєкології та рудоутворення НАН України» (МорГеоЕкоЦентр), на основі вивчення світового досвіду та польових експериментальних робіт, запропоновано прилад оригінальної конструкції для відбору МП з поверхневого шару донних осадків різних акваторій. Принцип дії приладу, виходячи з проведеного аналізу доступних світових літературних джерел, не має подібних, і, в разі успішного завершення експериментальних випробувань, пробовідбірник може стати ефективним й, одночасно, доступним інструментом досліджень поверхні дна акваторій в майбутньому.

## **Аналіз попередніх досліджень**

Вивчення досвіду європейських країн у проведенні досліджень пластикових відходів та МП в складі донних відкладів різних акваторій засвідчило, що відбір, головним чином, відбувається за стандартними процедурами устаткуванням для досліджень морських донних осадків — черпаками та мультикорерами (рис. 1) [2].

Надійність цих приладів у дослідженнях морського дна підтверджена майже сторічною практикою і не викликає сумнівів у доцільності використання, але одночасно існують деякі проблемні аспекти щодо їх залучення саме до вивчення розподілу пластика та МП в донних відкладах. Головним недоліком є те, що незважаючи на вилучення пробовідбірниками значної маси донного ґрунту в цілому, обсяг шару морських осадків, у межах якого може накопичуватись пластик, є невеликим, що визначається тривалістю та темпами седиментації в морях і океанах. Якщо взяти за точку відліку 60-ті рр. минулого століття, коли почався активний винос в морське середовище і накопичення в донних відкладах пластикової компоненти, то вертикальний шар речовини, теоретично збагаченої полімерами та їх фрагментами, не буде перевищувати 1 см навіть в умовах лавинної седиментації (10 см/1000 років) [1]. У той же час дослідження пластиків у донних відкладах у цілому свідчать про відносно незначну кількість їх фрагментів у сучасному шарі морських осадків. Тому використання таких достатньо грубих інструментів відбору, як донний черпак, без можливості надійного розшарування осадкової товщі, може призводити до ускладнення процесу виокремлення МП з проб, похибки в підрахунку їх кількості та зайвій розтраті реагентів у процесі лабораторних досліджень.

Таким чином, основними перевагами користування традиційними засобами і способами відбору є отримання відносно непорушених зразків донних осадків,

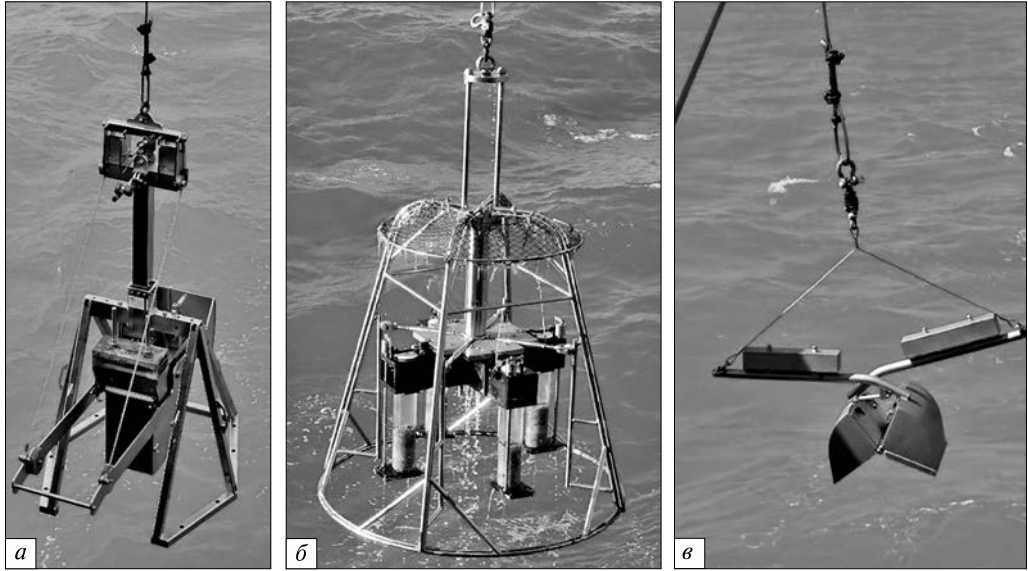


Рис. 1. Устаткування для відбору проб донних осадків: а — коробковий пробовідбірник; б — мультикорер; в — черпак Ван Віна [2]

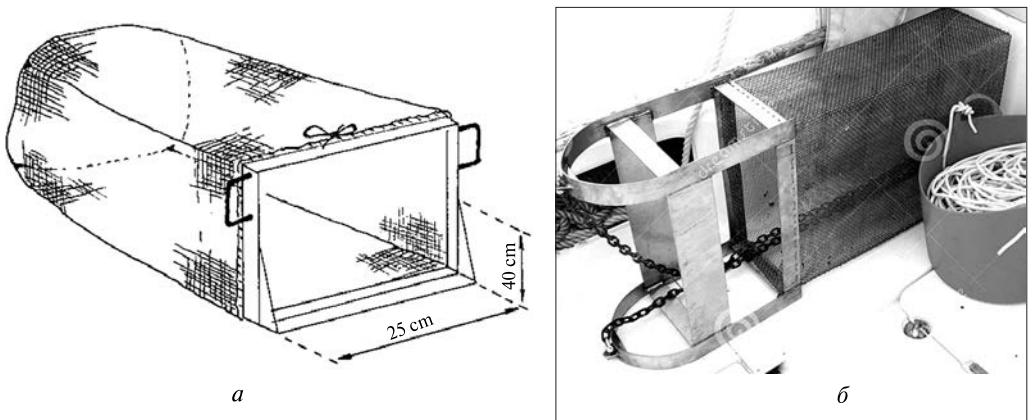


Рис. 2. Приклади буксованих донних пробовідбірників: а — ручна драга, що використовується для відбору проб двостулкових молюсків; б — бентосна драга для отримання об'єктів певної розмірності з донної поверхні шляхом буксирування її плавзасобом поверхнею дна [4]

але у той же час, при дослідженні пластикової складової у поверхневих осадках, ці особливості пробовідбору можуть приводити до невірної кількісної оцінки фрагментів МП через недостатність репрезентативного матеріалу. Значний обсяг речовини, яку необхідно відібрати для вилучення достатньої кількості пластикового матеріалу для досліджень полімерної складової у відкладах, також створює додаткові складнощі при збереженні і транспортуванні зразків та вимагає значних витрат реагентів й інших дорогих розхідних матеріалів для проведення лабораторних досліджень.

Зважаючи на існуючу проблему, доцільним стає створення обладнання для площинного відбору з поверхні дна достатньої для якісного аналізу кількості матеріалу з реалізацією принципу первинного розділення речовини на техногенну

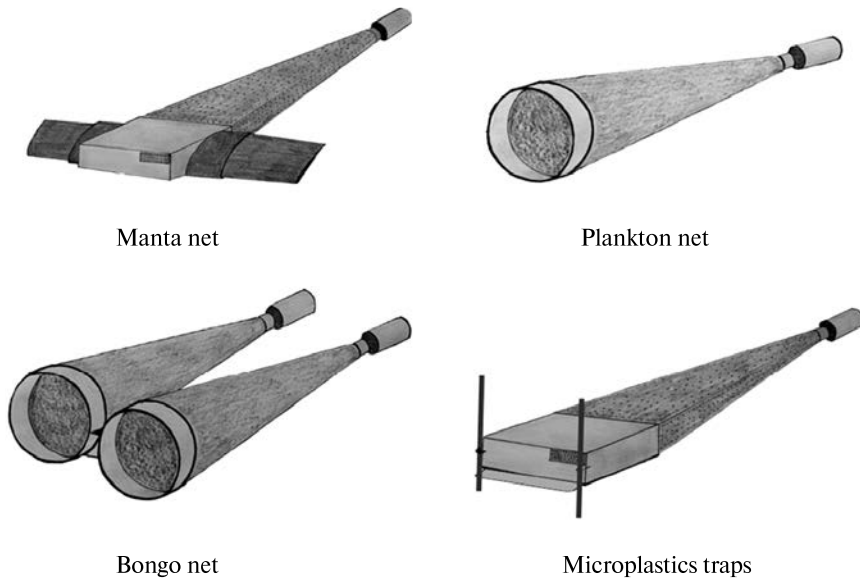


Рис. 3. Варіанти пробовідбірників буксованого типу для відбору органічної (фіто-зоопланктон) та неорганічної (МП) речовини з поверхні та товщі води [2]

(мікро- та макропластик) та природну компоненти (мінеральна та органічна складові донних осадків). Аналіз літературних джерел показав, що комбінування принципу дії інших відомих методів досліджень морських середовищ може бути корисним при створенні обладнання для наших практичних цілей.

**Методи відбору зразків з поверхні донних осадків драгуванням.** Такий спосіб у тривалій світовій практиці досліджень океанів і морів залучався, головним чином, до відбору твердої компоненти з кристалічних, метаморфічних або щільних осадових підводних поверхонь. Переважно використовувались напівкруглі трубчаті драги для відбору кам'яного матеріалу та коробкові драги квадратного перерізу для відбору проб піщаних і мулистих осадків. Методи драгування дна також часто використовуються у дослідженнях різноманітних бентосних угруповань та їх промислового видобутку (рис. 2).

Таке устаткування, за умов достатньо грубого принципу дії, дозволяє проводити відбір зразків певної розмірності, у залежності від діаметру комірок металеві сітки-карману, де відбувається розділення дисперсної ґрунтової маси, що вимивається завдяки руху приладу, і більш масивних включень, що фільтруються і залишаються в пробовідбірнику.

**Процес фільтрації водної маси** від щільних дисперсних включень за рахунок проходження великих об'ємів води через фільтрувальне полотно сачкоподібного пробовідбірника (рис. 3) під час руху дослідницького плавзасобу лежить в основі відбору проб фіто- та зоопланктонних угруповань, а також МП з товщі води та її поверхневих шарів [2].

Очевидно, що можливість поєднання принципів дії, а саме: відбір зразків досліджуваної речовини пастками-пробовідбірниками активного типу за рахунок руху плавзасобу, що їх буксирує та одночасне первинне «збагачення» зразків, тобто розділення компонентів донного геологічного середовища, з фіксацією

корисної компоненти, може дозволити значно інтенсифікувати та зробити суттєво продуктивнішим процес польових робіт.

## **Отримані результати та обговорення**

Проведення експериментальних робіт дозволило нам розробити та запропонувати для використання пристрій, функціонування якого ґрунтується на зазначених вище принципах і впровадження якого в практику може суттєво підвищити ефективність відбору проб МП з поверхневого шару донних осадків. Поки що запропонований авторами пробовідбірник, пройшов лише експериментальні випробовування в річковому середовищі і попередньо має деякі обмеження у використанні. Зокрема, його залучення до відбору зразків МП можливе лише на горизонтальних донних поверхнях, представлених пухкими осадовими породами (піски, алеврити, мули), а динамічні навантаження на фрагменти пластику, які концентруються у фільтрувальному кармані, можуть призвести до їх руйнування і подальшої дефрагментації, що, на думку ряду вчених, порушує чистоту експерименту [3, 5].

У запропонованому приладі, який за основним принципом дії схожий на драгу, що буксирується, одночасно реалізовано:

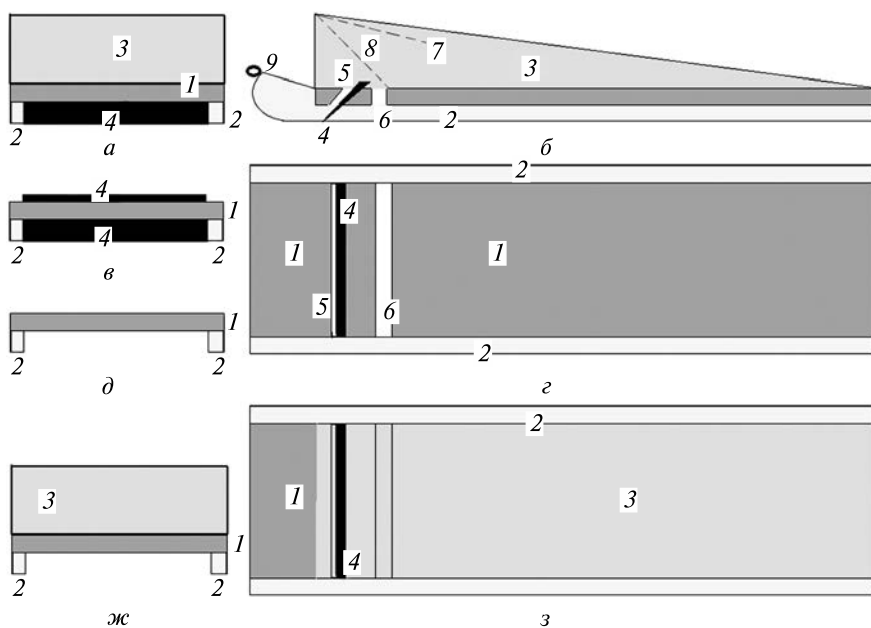
- можливість первинного розділення речовини відкладів у процесі пробовідбору механічним способом на різні складові завдяки формі і принципу дії приймальної частини приладу;
- фіксацію дрібних частинок (алевритова складова) у фільтрувальному кармані;
- можливість тривалого площинного відбору проб, де час експозиції залежить від поставлених завдань;
- принцип зміни параметрів пробовідбору в залежності від фізичних властивостей осадкової товщі (гранулометричний склад, щільність частинок тощо),
- конструкторське рішення з відбору шару вертикальних донних осадків різної потужності.

Прилад складається з прямокутної платформи, по краях нижньої частини якої розташовані невисокі полози, що спираються на донну поверхню, і якими відбувається пересування приладу в процесі буксировки (рис. 4). Передню частину платформи перетинає поперечна щілина через всю ширину платформи (від правого полозу до лівого полозу), на дальній від передньої частини приладу кромці під нахилом розташовано металеву пластину (по ширині щілини), один край якої під гострим кутом уходить дещо нижче полізів, а інший — підіймається на декілька сантиметрів над платформою. На деякій відстані від першої присутня друга щілина, яка має змінну ширину і таку ж довжину, як і перша. На платформу по її периметру встановлюється короб з фільтрувальної тканини у формі кутника, з отвором, відкритим в сторону зазначених вище щілин. По периметру отвору з внутрішньої сторони обтягнутого тканиною коробу розташована легка шторка, прикріплена до верхньої частини отвору.

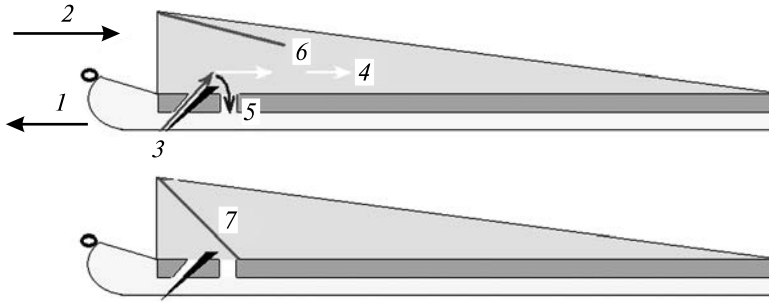
Відбір поверхневого шару відкладів запропонованим приладом відбувається за принципом рубанка — ніж (металева смуга), розташований під нахилом, ріжуча кромка якого знаходиться нижче опорних полізів конструкції, знімає з дна напіврідкий шар осадків, що межує з водним середовищем (рис. 5). Нахил ріжу-

чої частини і заглиблення в донні ґрунти можна змінювати в залежності від задач пробовідбору та механічного складу поверхні відкладів. Драга, спираючись на полози, рухається вперед, а ніж, зрізуючи поверхневий, найменш щільний шар донних осадків, підіймає під нахилом на невелику висоту і перекидає його через себе, в другий отвір. На цьому етапі відбувається щільнісна сепарація - важка мінеральна складова повертається через другий отвір на дно, а більш легкі компоненти, зависаючи на певний час у воді, потрапляють за рахунок руху драги у фільтрувальний карман. Винесенню за межі сітки зависі запобігає рух пристрою, фактично за принципом роботи планктонних тралів, у разі зупинки пастки конструкцією передбачена вищезазначена сітяна шторка, розташована між отвором і фільтрувальним карманом, яка відкривається в процесі руху і закриває карман у разі зупинки за рахунок сили тяжіння. Таким чином, завдяки різним швидкостям гравітаційного осідання компонентів донних осадків, відбувається «збагачення» речовини, що має невисоку щільність, і потрапляння її у фільтрувальний карман приладу разом з МП і пластиковими фрагментами невеликого розміру ще на стадії первинного відбору зразків.

Невеликий просвіт між днищем пастки та нижньою частиною полозів, що пересуваються по дну, запобігає потраплянню в фільтрувальний карман габаритних об'єктів, розташованих на дні на шляху руху пастки. Фільтрувальна



**Рис. 4.** Схематичне зображення драги-пробовідбірника в різних проекціях та компоновці, а також основні функціональні складові її конструкції: *а* — вигляд спереду (ззаду) у зібраному стані; *б* — вигляд збоку; *в* — вигляд спереду (ззаду) без фільтрувального короба; *г* — вигляд зверху без фільтрувального короба; *д* — вигляд спереду (ззаду) без фільтрувального короба та ножа; *ж* — вигляд спереду (ззаду) з фільтрувальним коробом без ножа; *з* — вигляд зверху з фільтрувальним коробом; 1 — корпус пастки; 2 — полози; 3 — фільтрувальний короб; 4 — ніж; 5 — приймальна щілина перед ножом; 6 — щілина для скидання мінеральної компоненти; 7 — шторка в закритому стані; 8 — шторка у відкритому стані; 9 — кріплення для буксировки приладу



**Рис. 5.** Схематичне зображення принципу дії драги-пробовідбірника: 1 — напрямок буксування драги; 2 — напрямок руху води при пересуванні відбірника; 3 — надходження зрізаного шару поверхневих донних осадків до фільтрувального карману; 4, 5 — гравітаційна сепарація — видалення важкої фракції осаду через отвір у дні драги (4) та переміщення легкої фракції до фільтрувального карману (5); 6 — відкрита штorka фільтрувального карману під час руху за рахунок водного потоку; 7 — закрыта при нерухомому стані пробовідбірника

конструкція, що має форму конусоподібного мішка (сачка), сприяє накопиченню завислих частинок за рахунок руху приладу в прикінцевій вузькій частині.

В експериментальних варіантах у конструкції каркасу з фільтрувальним карманом використовуються поліамідна сітка з розміром комірок 46 мкм та геотекстильне полотно з коміркою 100 мкм відповідно.

Відбір матеріалу траленням дна зазначеною драгою відбувається за допомогою буксирування човнами на тросі чи канаті, на мілководдях — пішим способом двома особами, що рухають прилад з двох сторін, не порушуючи донні відклади перед смугою відбору. При відборі з човна на глибинах більше метра буксировка може відбуватись у кильватерній зоні; якщо відстань менша, слід зважати на необхідність запобігання порушення структури поверхневого напіврідкого шару донних осадків, як потенційного середовища концентрації МП у донних відкладах. Вплив на поверхневі відклади можна мінімізувати, розташувавши з одного боку плавзасобу виносні елементи на кшталт відповідних балок чи стріл на науково-дослідних чи риболовецьких судах.

Швидкість човна бажано регулювати, щоб вона була постійною і низькою, для запобігання потрапляння частинок із високою щільністю до фільтрувального карману повз щілини для скидання мінеральної компоненти. Швидкість буксирування більше 1 вузла знижує ефективність відбору, викликаючи турбулентність у фільтрувальній складовій пастки та збільшуючи навантаження на фільтрувальну тканину. У разі використання сіток з комірками менше 20 мкм, рекомендована швидкість схожих за принципом дії приладів з відбору МП з товщі води становить менше 0,5 вузла [2].

Зручність пропонованого устаткування полягає також в тому, що при неможливості регулювання швидкості засобу з буксирування драги, функціонування системи щільнісного розділення можливе такими способами:

- регулювання горизонтального нахилу смуги-ножа для відбору верхнього шару осадків;
- регулювання ширини щілини для скиду мінеральної компоненти.

На сьогоднішній день прилад існує тільки в експериментальному виконанні і проходить випробовування в річковому середовищі для вдосконалення всіх елементів конструкції.

## Висновки

Проведені дослідження обґрунтовані необхідністю розробки ефективного та недорогого пробовідбірника для вивчення особливостей акумуляції в донних відкладах МП на основі активного відбору проб донних осадків на невеликих глибинах. Запропоноване устаткування завдяки своїй конструкції має можливість проводити первинну сепарацію верхнього шару донних відкладів, концентруючи в пробі їх найменш щільну поверхневу складову. Конструкція забезпечує тривалий час відбору проб, що дозволяє накопичувати презентабельну кількісну наважку для всебічного дослідження МП та фіксувати дрібні частинки (алевритова складова) у фільтрувальному кармані. Можливість корегування процесу пробовідбору в залежності від фізичних властивостей осадової товщі досягається конструкторськими рішеннями з оперативної зміни параметрів окремих елементів конструкції приладу (нахил, глибина занурення в ґрунт ріжучої пластини, регулювання ширини скидної щілини, облаштування фільтрувального карману тканиною різної проникності).

На даний момент тривають експериментальні роботи з покращання функціонування та надійності приладу, впровадження в практику якого може суттєво підвищити ефективність пробовідбору МП з поверхневого шару донних осадків.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Ємельянов В.А., Митропольский А.Ю., Наседкин Е.И. и др. Геозкология черноморского шельфа Украины. Київ: Академперіодика, 2004. 296 с.
2. Campanale C., Savino I., Pojar Iu., Massarelli C., Uricchio V.F. A Practical Overview of Methodologies for Sampling and Analysis of Microplastics in Riverine Environments. *Sustainability*. 2020. 12(17), 6755. 29 p. <https://doi.org/10.3390/su12176755>
3. Hidalgo-Ruz V., Thiel M. Distribution and abundance of small plastic debris on beaches in the SE Pacific (Chile): A study supported by a citizen science project. *Mar. Environ. Res.* 2013. V. 87-88, P. 12-18. <https://doi.org/j.marenvres.2013.02.015>
4. Peharda M., Hrs-Brenko M., Bogner D., Onofri V., Benović A. Spatial distribution of live and dead bivalves in saltwater lake Malo Jezero (Mljet National Park). *Periodicum Biologorum*. 2002. V. 104 (2), P. 115-122.
5. Zobkov M.B., Esiukova E.E. Microplastics in a marine environment: Review of methods for sampling, processing, and analyzing microplastics in water, bottom sediments, and coastal deposits. *Oceanology*. 2018. V. 58, P. 137-143. <https://doi.org/10.1134/S0001437017060169>

Стаття надійшла 15.03.2023



*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 Research Scientist

e-mail: nasedevg@ukr.net

ORCID 0000-0003-2633-9291

*T.S. Kukovska*, PhD (Geol. & Mineral.), Senior Research Scientist

e-mail: t.kukovska@gmail.com

ORCID 0000-0001-7532-8885

*I.M. Shuraiev*, PhD (Geol.), Scientific Secretary

e-mail: shuraev@nas.gov.ua

ORCID 0000-0002-6289-8632

*O.A. Mytrofanova*, PhD Student

e-mail: mitrof\_ol@ukr.net

ORCID 0000-0001-5971-9122

MorGeoEcoCenter NAS of Ukraine

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

#### TOWED DREDGE FOR COLLECTION OF MICROPLASTICS FROM THE SURFACE OF THE BOTTOM THROUGH DENSITY SEPARATION

The publication reflects the problematic issues related to the need to create effective equipment for the selection of microplastics from the bottom surface of water areas, which is one of the relatively new types of pollutants in aquatic ecosystems. The existing methods and tools for its selection are considered and their advantages and disadvantages are determined. The design of the device for the selection of microplastics from surface bottom sediments, alternative to the existing options, is proposed. The methodological approach to the creation of such a construction is based on the expediency of simultaneous planar sampling using a towing device with the primary distribution of bottom sediments in the sampling process due to density separation. This is achieved by implementing a number of structural solutions that allow not only the selection of the upper semi-liquid layer of bottom sediments, but also the separation of the heavy mineral component, carrying out the targeted selection of substances with low density, including microplastics. Some issues remain methodologically unfounded, in particular, the possibility of recalculating the number of microplastic particles per unit volume of the substance of bottom sediments, their solution consists in conducting long-term experimental work. The principle of operation of the device, based on the conducted analysis of literary sources, has no analogues, and, in case of successful completion of experimental tests, it can become an effective and, at the same time, affordable tool for researching the surface of water areas bottom in the future.

**Keywords:** microplastics, bottom sediments, dredge, separation, ecological research.