

ГІДРОГЕОЛОГІЯ, ІНЖЕНЕРНА ТА ЕКОЛОГІЧНА ГЕОЛОГІЯ

УДК [502.51:504.5]:628.4

DOI: <http://doi.org/10.17721/1728-2713.104.11>

Володимир ЄМЕЛЬЯНОВ¹, д-р геол.-мінералог. наук, чл.-кор. НАН України
ORCID ID: 0000-0002-8972-0754
e-mail: eva@nas.gov.ua

Євген НАСЕДКІН², канд. геол. наук, ст. дослідник
ORCID ID: 0000-0003-2633-9291
e-mail: nasedevg@ukr.net

Олена ІВАНІК³, д-р геол. наук, проф.
ORCID ID: 0000-0002-8782-4883
e-mail: om.ivanik@gmail.com

Тамара КУКОВСЬКА¹, канд. геол.-мінералог. наук, ст. наук. співроб.
ORCID ID: 0000-0001-7532-8885
e-mail: t.kukovska@gmail.com

Володимир ЮХИМЧУК⁴, д-р фіз.-мат. наук, проф.
ORCID ID: 0000-0002-5218-9154
e-mail: v.yukhymchuk@gmail.com

Олександра МИТРОФАНОВА¹, асп.
ORCID ID: 0000-0001-5971-9122
e-mail: mitrof_ol@ukr.net

¹Центр проблем морської геології, геоелекології та осадового рудоутворення
НАН України, Київ, Україна

²Інститут геологічних наук НАН України, Київ, Україна

³Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна

⁴Інститут фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова НАН України, Київ, Україна

ОСОБЛИВОСТІ РОЗПОДІЛУ МАКРО- ТА МІКРОПЛАСТИКУ В МЕЖАХ ПЛЯЖЕВИХ ЗОН ВНУТРІШНЬОКОНТИНЕНТАЛЬНИХ МОРІВ (НА ПРИКЛАДІ ПЛЯЖЕВОЇ ЗОНИ М. ЮЖНЕ, УКРАЇНА)

(Представлено членом редакційної колегії д-ром геол. наук, ст. наук. співроб. О.Л. Шевченком)

Вступ. Приміські пляжі в межах українського узбережжя північно-західного шельфу Чорного моря, зважаючи на щільність промислової та соціально-побутової інфраструктури, наближеність до впадіння в море великих водних артерій із значними водозбірними територіями, є достатньо показовими об'єктами для проведення режимних досліджень розподілу пластикового сміття та мікропластику в компонентах довкілля.

Методи. Визначено закономірності розподілу пластикового сміття та мікропластику в межах прибережної зони північно-західної частини Чорного моря на прикладі тестових ділянок м. Южне (Одеська обл., Україна). Для аналізу кількісних та якісних характеристик синтетичних полімерів та з'ясування особливостей їх формування, розподілу та надходження в межах пляжної зони додатково використано метод фільтрації зворотних хвилювих потоків. Виконано візуальний аналіз розподілу пластикових об'єктів і фрагментів та визначено їхні типи за допомогою Раман-спектроскопії.

Результати. Спектроскопічні дослідження засвідчили, що в переважній більшості відібрані зразки макро- та мікропластику представлені поліпропіленом, поліетиленом та полістиролом. Підтверджено, що основна частина пластику має високу міграційну здатність у межах прибіжних ділянок, що визначається переносом водними потоками в періоди хвилювої активності та відсутністю сталої компоненти в товщі піску в межах пляжу. Визначено, що для різних категорій розмірності пластикових фрагментів кардинально змінюється їх видовий склад. Полімерні синтетичні об'єкти розміром понад 1 см представлені переважно поліпропіленом, полістиролом та виробами з поліетилену високої щільності. В категорії більш дрібної розмірності пластикових фрагментів розширюється як спектр видів полімерів, так і їх належність до різних економічних сфер використання. Синтетичні волокна, що становлять більшість об'єктів найдрібнішої гранулометричної фракції – менш як 0,1 мм – присутні повсюдно і в значній кількості.

Висновки. Дослідження засвідчують, що параметри берегової лінії (ширина, довжина, нахил, форма, наявність рослинності, антропогенна змінність), гідродинамічні процеси та геологічна будова берегової зони мають суттєвий вплив на формування умов накопичення макро- та мікропластиків. Для подальшого дослідження факторів впливу на засмічення пластиковими об'єктами та мікропластиком пляжової зони необхідні моніторингові дослідження в межах представлених тестових ділянок.

Ключові слова: забруднення, пластикове сміття, мікропластик, Чорне море, прибережна зона, літодинаміка.

Вступ

В умовах повномасштабних військових дій в Україні морські пляжі поки що залишаються одним з небагатьох доступних для вивчення елементів середовища морських геоекосистем. Проводити повноцінні комплексні дослідження в акваторіях Чорного та Азовського морів нині неможливо. Крім того, пляжові зони можна вважати однією з показових складових природних комплексів субсистем ділянок зчленування "суходіл-море", зокрема в контексті спостережень розподілу

пластикового сміття та мікропластиків у морських геоекосистемах.

По-перше, пляжі – це природні території, де відбувається накопичення пластикових відходів загалом, а також часткова акумуляція мікропластиків завдяки процесу інтенсивної сепарації та перевідкладення в хвилеприбіжній зоні речовини, яка перебуває в товщі чи на поверхні водного шару акваторій. По друге, соціальний статус пляжів Чорноморського басейну як зон активного

відпочинку дає змогу розглядати їх як первинне джерело емісії пластику в природне середовище.

Крім того, у межах пляжів відбувається не тільки акумуляція та сепарація пластикового сміття, але й активна деградація цього продукту антропогенної діяльності. Згідно з A.L. Andrady (Andrady, 2011) на відміну від пластиків, що перебувають у товщі води, на її поверхні або у складі донних відкладів, пластики у межах пляжних зон зазнають: 1) інтенсивного впливу ультрафіолетового випромінювання; 2) температурних перепадів (як добових, так і сезонних); 3) впливу кисневого середовища (повітря); 4) інтенсивного механічного подрібнення та стирання в періоди різного ступеня хвильової активності та 5) біологічного та мікробіологічного впливу.

Міжнародний досвід досліджень цього типу забруднення в межах територій пляжів акваторії Чорного моря достатньо різноманітний, але не системний. Зокрема, в публікації M. Şener із співавторами (Şener, Doğruyol, & Balkaya, 2019) висвітлюються результати досліджень забруднення пластиком піщаних пляжів узбережжя Чорного моря з анатолійської сторони міста Стамбул. Румунські науковці (Savusa et al., 2017) провели дослідження забруднення відкладів Чорноморського узбережжя Румунії мікропластичними волокнами. Склад та чисельність антропогенного сміття досліджувались також на прилеглих прибережних пляжах трьох річок, що впадають у Північно-Західне та Південне Причорномор'я (Aytaç, Pogojeva, & Simeonova, 2020).

Окремі методичні розробки (Kershaw, Turra, & Galgani, 2019) визначають важливим природним елементом для здійснення моніторингу пластикового сміття та мікропластику хвилеприбірні ділянки узбережжя, відзначаючи такі властивості пляжів, як:

- місце накопичення (концентрування) морського сміття завдяки хвилеприбірній діяльності моря та розподілу течій;

- ділянку акваторії, найбільш наближену до наземних джерел утворення пластикового сміття та мікропластику.

Отже, виходячи із зазначеного вище, приміські пляжі в межах українського узбережжя північно-західного

шельфу Чорного моря, зважаючи на щільність промислової та соціально-побутової інфраструктури, наближеність до впадіння в море великих водних артерій із значними водозбірними територіями, є достатньо показовими об'єктами для проведення режимних досліджень розподілу пластикового сміття та мікропластику в компонентах довкілля. Аналіз пластику в межах берегових ліній визначає економічно ефективний підхід до моніторингу тенденцій його розподілу, незважаючи на динамічність природних факторів (за умови врахування мінливості системи).

Обґрунтування вибору ділянки досліджень за фізико-географічними умовами. Аналіз результатів досліджень пластиків (Kershaw, Turra, & Galgani, 2019; Andrady, 2011; Falahudin et al., 2020; Constant et al., 2020) показує, що під час вибору та обґрунтування ділянок спостережень за розподілом компонентів пластикових відходів (зокрема, мікропластику) потрібно враховувати як загальногеографічні аспекти розташування територій досліджень, так і ландшафтну та геоморфологічну різноманітність локальних природних середовищ у межах станцій пробовідбору.

Під час вибору ділянки спостережень у загальногеографічному аспекті ключовим фактором було завдання мінімізації кількості джерел впливу на можливе насичення об'єкта досліджень пластиком сміттям і мікропластиком.

Визначена спостережна ділянка – міський пляж м. Южне – розташовується в центрі узбережжя північно-західного шельфу Чорного моря, недалеко від місця розвантаження вод Дніпровсько-Бузького лиману. Водночас промислово навантажений регіон (м. Одеса, портові комплекси, місця дночерпання та дампування) в районі Одеської затоки знаходиться близько 50 км західніше від обраної ділянки. Розподіл течій у частині акваторії, прилеглої до м. Южне, визначається цілорічним впливом розприснених вод, що надходять з гирла Дніпровсько-Бузького лиману та формують стійкий потік у межах цієї частини шельфу в південно-західному напрямку.

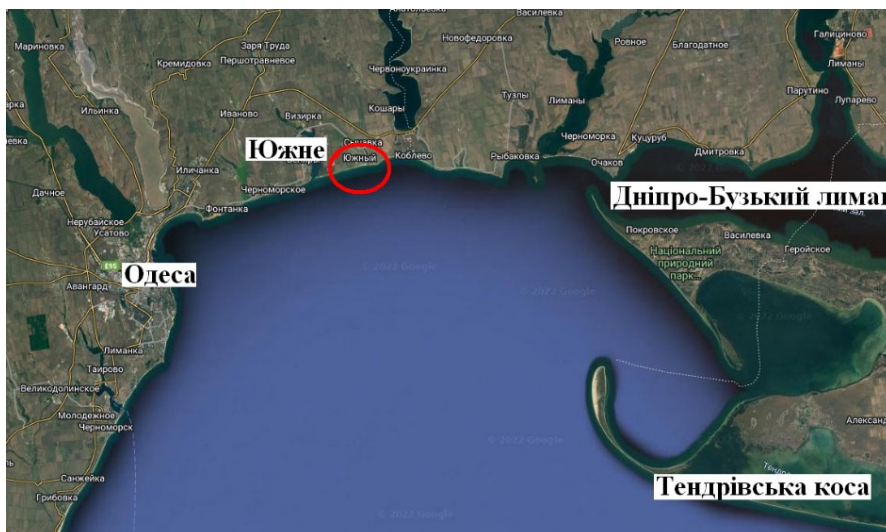


Рис. 1. Розташування ділянки досліджень (червоне коло) в межах узбережжя північно-західного шельфу Чорного моря

Помірно континентальний клімат району досліджень з рисами субтропічного, м'яка зима, тепле і довге літо визначають туристичну привабливість міста, та ділянки досліджень, зокрема м. Южне, в межах якого розташо-

ваний досліджуваний пляж. Воно є одним із наймолодших міст Одеської області із населенням понад 33 тис. осіб, в семи кілометрах на захід від якого розташований морський торговельний порт "Південний" та Одеський

припортовий завод. Відстань до обласного центру – м. Одеса становить близько 47 км. Також західніше від міста збудовано морський нафтовий термінал "Південний", з якого починається нафтогін Одеса–Броди. Необхідно зазначити, що більшість комунальних і промислових осередків в межах чорноморського узбережжя, які можуть мати суттєвий вплив на надходження пластикового сміття та мікропластику, розташовані західніше від м. Южне. Останнє свідчить про мінімальний можливий їхній внесок у забруднення пластиком досліджуваної ділянки, зважаючи на розподіл течій у районі акваторії, де найвпливовішим фактором є розвантаження в акваторію річкових вод з Дніпровсько-Бузького лиману на схід від міста.

З літературних джерел (Kershaw, Turra, & Galgani, 2019) відомо, що параметри берегової лінії (ширина, довжина, нахил, форма, наявність рослинності, антропогенна змінність) мають суттєвий вплив на формування умов накопичення пластиків та мікропластиків. Узбережжя зазвичай дуже динамічні через поєднання океанографічних (припливи, хвилі та течії) та метеорологічних (вітри та осадки) процесів. Також на характер берегової лінії впливають геологічні фактори, що визначають її тип, склад та потужність порід. Все це зумовлює розподіл, чисельність та види морського сміття, їх мінливість у просторі та часі.

Щодо літологічних особливостей поверхневої осадової товщі, то досліджувана ділянка складається з двох типів покриву:

- безпосередньо міський пляж із привнесеного насипного піску, представленого середньо-крупнозернистою гранулометричною фракцією, забрудненість якого має візуально контролюватись комунальними службами міста;
- природні пляжі, складені дрібнозернистим піском та алевритовою складовою, що утворюються завдяки абразії берегових уступів.

Типи берегового уступу ділянки досліджень належать за класифікацією НДУ "Український науковий центр екології моря" (Український та ін., 2018) до корінних абразійних кліфів, а потужність вторинного замулення прибережної донної поверхні, представлені піском, мулом та черепашником, сягає 5 см (рис. 2). Пляжний профіль може бути змінений сильним хвилюванням, що може поховати або виявити сміття, але це відбувається нечасто і переважно в холодний період року. Вважається, що для району досліджень активне осадження тонкодисперсної речовини викликане зниженням інтенсивності стоку вод Дніпровсько-Бузького лиману, а для частини акваторії на захід – також активною господарською діяльністю (портове господарство, прибережне будівництво, судновий вантажний потік, дампінг ґрунтів, рибний промисел тощо).

Отже, беручи до уваги напрямки прибережних течій, особливості рельєфу та морфологію узбережжя, основні джерела надходження синтетичних полімерів за ступенем антропогенного навантаження на берегову лінію в межах території досліджень, варто обмежити:

- 1) транзитним привнесенням з водозбірних територій річок Дніпро та Південний Буг, зважаючи на близькість до створів річок – потенційних транзитерів пластикового сміття та мікропластику;
- 2) надходженням з побутових джерел міського осередку (пляжів зони культурного відпочинку, звалища в межах та недалеко від узбережжя, стічні води).

Водночас слід зазначити, що басейн р. Дніпро налічує 15381 малу річку (67,2 тис. км) і займає найбільшу серед інших річок країни площу – 48,5 % території України. Басейн Південного Бугу охоплює 10,6 % території України,

до басейну належить 6638 малих річок загальною довжиною 20,1 тис. км. Такі показники мають суттєвий вплив на виник антропогенної речовини, і зокрема синтетичних полімерів, у межі акваторії Чорного моря (рис. 3).

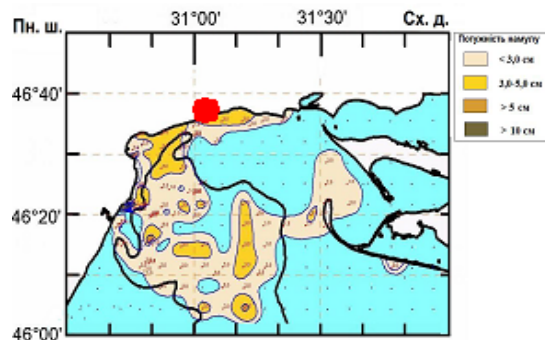


Рис. 2. Просторовий розподіл зон вторинного замулення донної поверхні моря в Дніпровсько-Бузькому районі північно-західної частини Чорного моря (червоне коло – район проведення досліджень) (Український та ін., 2018)



Рис. 3. Схема водозбірних територій України (червоне коло – район проведення досліджень)

Методи

Методика відбору, підготовки та аналізу проб.

Відбір проб проводився двома способами, один з яких є традиційним для досліджень з виявлення мікропластику та пластикових фрагментів у піщаних наносах. Зокрема, проби піску відбирались відповідно до усталених методик (Löder, Gerds, 2015).

За відсутності відчутних припливно-відливних явищ у Чорному морі акценти відбору було зроблено на:

- 1) різних ділянках хвилеприбіної зони; проби відбирались в 1 та 7 метрах перпендикулярно до кромки води;
- 2) типах узбережжя, відмінних у геоморфологічному плані; проби відбирались із середини пологого міського пляжу (рис. 4, т. 2), вузької природної ділянки пляжу в межах корінного абразійного кліфу (рис. 4, т. 3) та перехідної ділянки (рис. 4, т. 1).

Відбір проб за класичною схемою проводився металевою лопаткою на глибині 5 см з різних літологічних типів поверхневої осадової товщі, зокрема в межах основної ділянки міського пляжу, представлених середньо-крупнозернистим піском, та природних пляжів на межі та за межами муніципальної території, складених дрібнозернистим піском з алевритовою складовою, що утворюються завдяки абразії берегових уступів.

Об'єм піску в кожній пробі становив 1 дм³, протягом двох років було відібрано 12 зразків упродовж літнього періоду (червень–липень) (Ємельянов та ін., 2021).



Рис. 4. Карта-схема відбору проб на ділянці досліджень:

1 – перехідна ділянка, 2 – середина лінійного тіла міського пляжу, 3 – корінний абразійний кліф

Другий тип відбору зразків мав нестандартний характер та був зумовлений такими об'єктивними факторами, як вкрай незначна кількість мікропластику, що фіксувалася в пробах піску, відібраних традиційними методами, роком раніше. Водночас візуальна оцінка розподілу частинок пластику та залишків пластикових виробів у межах пляжу вказувала на достатню їх кількість для повноцінного відбору на ділянці досліджень (Смельянов та ін., 2021). Цей метод відбору ґрунтувався на натурному процесі переведення в завислий стан та виносу речовини з денної поверхні пляжу площинним зливом, зокрема зворотними хвильовими водотоками в межах визначених ділянок відбору. Для цього було використано устаткування, за принципом дії схоже на трали для відбору зразків мікроорганізмів, зокрема планктону, з водної товщі (трал "Манта" та ін.). Як фільтрувальна тканина використовувалось поліамідне полотно Saatifil PA з розміром чарунки 0,016 мм (16 мікрон). Зворотні водні потоки виносили найменш щільну дисперсну складову з поверхні пляжу в напрямку урізу води (рис. 5). Вона була представлена, в порядку зменшення кількості, мінеральною компонентою алевритової розмірності (кварцовий пісок та детрит бентосних молюсків), личинками та залишками комах, дрібними шматочками деревини, фрагментами водної рослинності та пластиковими частинками різної розмірності. У міру накопичення приблизно 20 л води у фільтрувальній ємності відбір завершувався, відібрана рідина поступово профільтрувалась через полотно, а накопичений осадок відбирався для подальших лабораторних досліджень. Довжина пляжу (перпендикулярно лінії прибою), дренажена зворотними водами хвильових збурень, сягала 4 м, при цьому дослідження проводились на трьох вищезазначених ділянках.

У подальшому проби у скляній тарі доставляли в лабораторію ДНУ "МорГеоЕкоЦентр НАН України", де проходили процедуру сепарації мінеральної природної речовини від мікропластику та твердих органічних решток шляхом витримки в розчині хлористого цинку, що дало змогу завдяки щільності розчину, майже в два рази вищої за щільність води, найбільш повно забезпечити відбір фрагментів синтетичних полімерів різного хімічного складу. Етапи лабораторної підготовки та обробки проб сепарацією їх у концентрованому розчині хлористого цинку ($ZnCl_2$) (рис. 6) виконувались відповідно до

рекомендацій (Imhof et al., 2012). Це дозволило залучити до ідентифікації та оцінки групу мікропластиків, щільність яких перевищує щільність морської води, і які під час сепарації з використанням NaCl зазвичай залишаються у складі мінеральної компоненти (поліестр, поліуретан, поліамід, полістирол та ін.).

Наступним етапом після гравітаційного розподілу була мінімізація кількості природної органічної складової завислої речовини, шляхом відстоювання в концентрованому розчині перексиду водню 60 %. Операція дала змогу частково вилучити органічні залишки шляхом їх розчинення та обезбарвити ті, що залишились (рис. 7).

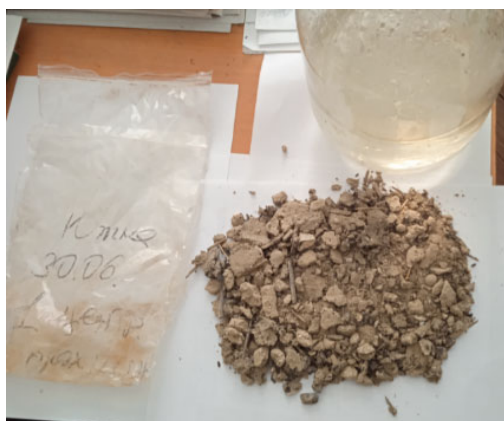


а



б

Рис. 5. Процес відбору проб зі зворотних хвильових потоків (а) та подальшої сепарації (б) через фільтрувальну тканину



а



б

Рис. 6. Лабораторна підготовка та обробка проб сепарацією в концентрованому розчині хлористого цинку ($ZnCl_2$): суха проба натурної речовини, загальний вигляд до переданалітичної підготовки (а); процес сепарації речовини в розчині хлористого цинку (б)

В подальшому проби промивали у дистильованій воді та висушували.

Після просушки відібраних проб зразки направляли на лабораторні дослідження, що включали такі основні етапи:

- 1) візуалізація та відбір фрагментів мікропластику, які можна напевно ідентифікувати за зовнішніми ознаками;
- 2) вилучення з проб органічних решток, яких виявилася значна кількість – понад 95 % обсягів проб, попередньо відсепарованих у розчинах $ZnCl_2$ та H_2O_2 ;

3) дослідження частинок мікропластику під бінокулярним МБС-9 та їх фотофіксація. Візуальна оцінка під мікроскопом МБС-9 відбувалась за низкою представлених у літературних джерелах методик, основними показниками – ідентифікаторами були колір, співвідношення лінійних розмірів та морфологія частинок. Це дало змогу виявити низку фрагментів пластику, а також частинок мікропластику (менш як 0,5 мм);

4) визначення неідентифікованих частинок за допомогою Раман-спектроскопії, що проводилось на апаратурній базі відділу оптики і спектроскопії Інституту фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова НАН України. Зокрема, в дослідженнях було задіяно однокаскадний спектроскоп MDR-23, оснащений охолоджуванним детектором CCD (Andor iDus 420, Велика Британія) та мікроскопом "Micromed". Раманівські спектри збуджувалися випромінюванням твердотільних лазерів з довжинами хвиль 457 нм, 532 нм, 671 нм та 785 нм.



1



2



3

Рис. 7. Процес розчинення органічної речовини в перексиді водню та промивки в дистильованій воді: 1,2 – початковий етап відстоювання проби в концентрованому розчині перексиду водню 35 %; 3 – вигляд відсепарованої висушеної проби. Більша частина фрагментів – залишки комах та їхні личинки, дрібні уламки деревини

Результати

Під час розгляду та систематизації результатів було використано класифікацію Національного управління океанічних і атмосферних досліджень США (NOAA) щодо розмірності пластикових відходів (Arthur, Baker, & Bamford, 2009; Collignon et al., 2014). Зокрема, мікропластик визначався як фрагменти будь-якого типу пластику з розміром менш як 5 мм (0,20 дюйма), що утворюються в результаті деградації пластикових виробів і спричиняють забруднення, потрапляючи в природні екосистеми з різних джерел (косметика, одяг, харчова упаковка та промислові процеси). Інша вагома складова пластикового сміття, відібраного на ділянці досліджень, це – фрагменти

чи вироби із синтетичних полімерів, розмір яких перевищує 5 мм. Більшість таких об'єктів, за результатами нашого пробовідбору, не перевищувала за розміром 5 см.

Попередньо зауважимо, що аналіз типів пластикових полімерів за допомогою спектроскопії було застосовано з огляду на те, що під час візуального аналізу більшість частинок може бути помилково ідентифікована як пластмаси.

Результати спектрографічних досліджень засвідчили, що в основній більшості відібрані зразки пластикових фрагментів, які можна ідентифікувати візуально, представлені поліпропіленом, поліетиленом і полістиролом. Розподіл спектрів (рис. 8) свідчить, що раманівські смуги накладаються на широкую смугу фотолюмінесценції, але здебільшого реєструються добре.

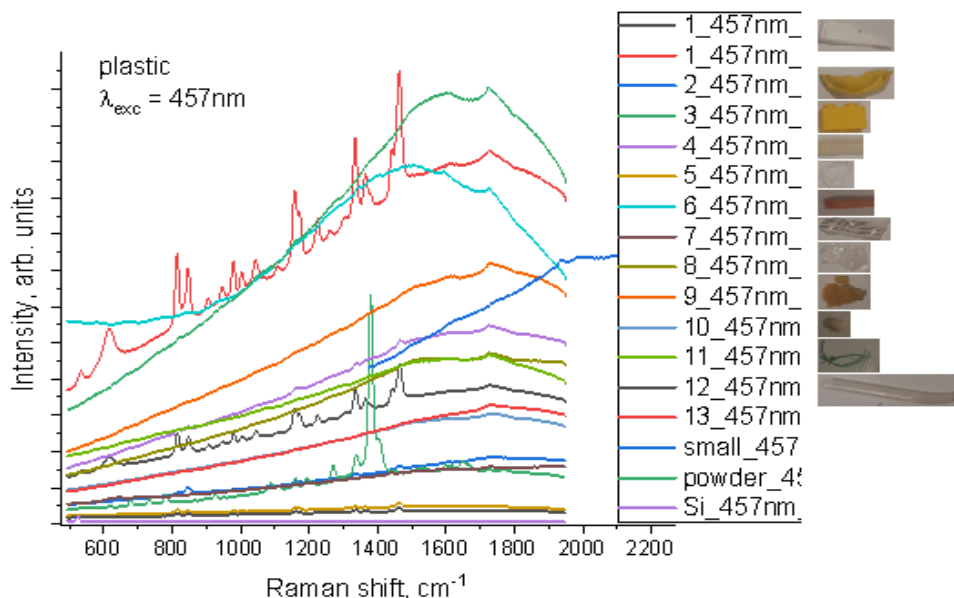


Рис. 8. Раманівські спектри для деяких частинок пластику, відібраних у ході досліджень, із використанням установки на базі спектрометра ДФС-52

Разом з тим суттєва кількість попередньо відібраного матеріалу, визначеного під мікроскопом з великою вірогідністю як пластик, у процесі ідентифікації спектроскопією виявилась твердими органічними рештками рослинного чи тваринного походження, що не зазнали деградації на стадії обробки пероксидом водню. Так чи інакше, інтенсивність фотолюмінесценції в ході лабораторних вимірювань не дала змогу ідентифікувати майже 50 фрагментів у розмірності 0,5–0,1 мм як синтетичні полімери.

Узагальнення досліджень засвідчило низку фактів, зокрема:

1. Дослідження проб піску за стандартними процедурами відповідно усталеним методикам з різних ділянок пляжу виявили такі особливості:

а) повна відсутність частинок пластику розміром понад 5 мм;

б) домінування фрагментів синтетичних матеріалів, представлених волокнами різної довжини (до 5 мм) та кольору (рис. 9), з поперечним перерізом 10–50 мкм. За хімічним складом волокна відповідають переважно поліпропілену, поліестерам та поліамідам, спостерігаються також одиничні екземпляри кульок пінополістиролу (рис. 10).



Рис. 9. Волокна різного виду і кольору, відібрані за усталеною схемою пробовідбору із зразків піщаного матеріалу в межах міського пляжу м. Южне

Доволі широку присутність волокон поліестеру в пробах піщаного матеріалу, відібраного традиційним методом, можливо пояснити такими факторами:

1) відносна міцність поліестеру до механічних впливів, він стійкий до дії світла, деградації мікроорганізмами, руйнування під дією водного середовища;

2) висока питома щільність матеріалу – понад 1,3 г/см³, що дає змогу закріплюватись у піщаних наносах і запобігати виношенню в море в періоди хвильової активності.

Очевидно, що джерела надходження цього виду мікропластиків мають побутовий характер, а шляхами надходження можуть бути як транзитні, так і місцеві водні потоки.

Щодо наявності незначної кількості частинок, представлених пінополістиролом з виробів невизначеного генезису, можна припустити таке. Зважаючи на значну кількість фрагментів безпресового пінополістиролу, відібраних у межах ділянки досліджень іншим методом (описаний нижче), можна вважати, що сфера застосування

первинних виробів і їх походження – будівництво чи сфера послуг (пакувальний матеріал). Водночас їх відносно висока щільність і темний колір, вірогідно, зумовлюються хімічним впливом морської води, тривалим перебуванням у межах гідродинамічно активної зони та впливом сонячної радіації.

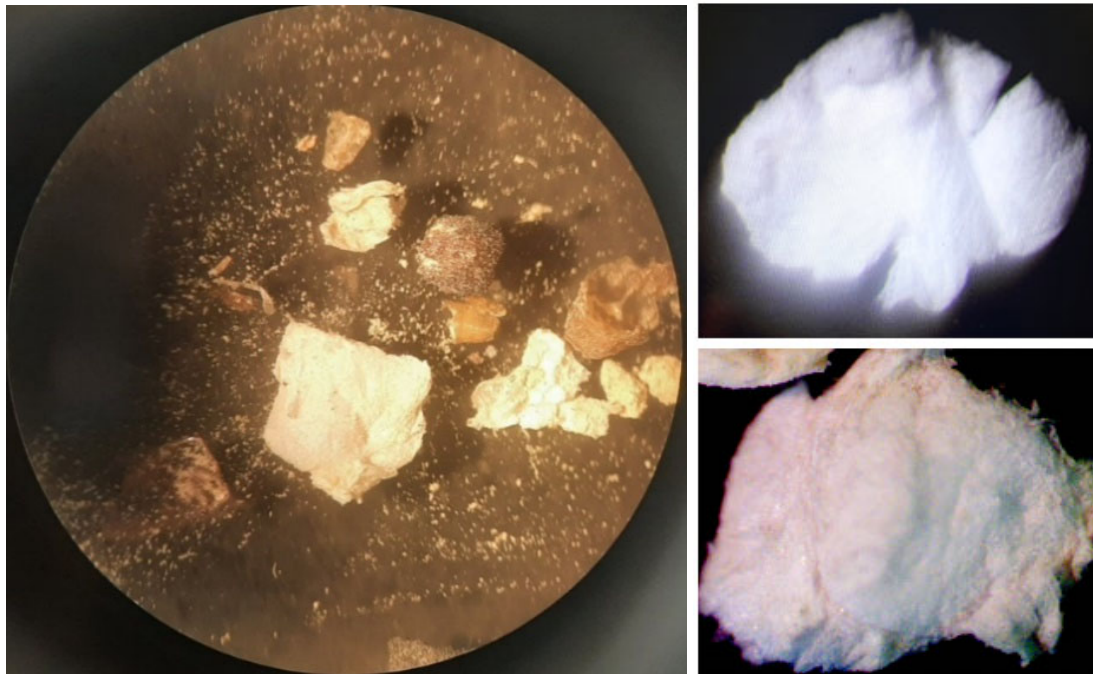


Рис. 10. Частинки, представлені пінополістиролом із зразків піщаного матеріалу в межах міського пляжу м. Южне (фото із різним збільшенням)

Отже, можна констатувати, що дослідження засвідчили низьку інформативність пробовідбору в межах міського пляжу Южного за усталеною в літературних джерелах схемою суцільного відбору зразків поверхневого шару піщаних відкладів з подальшою лабораторною сепарацією мінеральної та органічної складових.

2. Метод **фільтрації потоків води поверхневого стоку** досліджень виявився значно ефективнішим – кількісні та якісні характеристики відібраного синтетичного матеріалу засвідчили низьку особливостей його утворення, розподілу та надходження в межі пляжу. По-перше, порівняння компонентного складу основних груп за розміром вказує на домінування за кількісним показником частинок розміром менш як 0,5 мм. Одночасно за загальним обсягом відібраного матеріалу більшість становлять фрагменти пластику та пластикові вироби, розмір яких (в одній з площин) перевищує 0,5 мм. Слід зазначити, що поділ за розміром є досить умовним, зважаючи на значну кількість лінійних об'єктів і таких, що мають нещільну структуру і можуть дробитись чи розкладатись у процесі підготовки проб до досліджень.

За хімічним складом більшість частинок – похідні виробів з поліетилену чи поліпропілену і мають відповідну щільність нижчу за одиницю. Спектр виробів чи фрагментів виробів, щільність яких сягає більше одиниці, достатньо значний – це рибальські приладдя, елементи іграшок, а також фрагменти одягу та м'яких меблів (поролон). Суттєвий сегмент у відібраних пробах займають також полімери, що належать до утворених з природних

(несинтетичних) компонентів – цигаркові фільтри різного ступеня розкладання, що складаються з оцтового ефіру целюлози. Одиначні елементи проб – гумові вироби чи їх фрагменти, основу яких становить каучук, також не можна відносити до класу синтетичних матеріалів.

З ідентифікованих фрагментів чи цілих виробів за господарським призначенням більшість належить до галузі харчової промисловості, особливо в розмірній групі >0,5 мм.

Нижче в зведених таблицях (табл. 1, 2) представлено найтипівіші фрагменти чи вироби з пластику, що було безпосередньо відібрано методом фільтрації зворотних хвильових потоків у межах трьох точок відбору проб пляжу м. Южне.

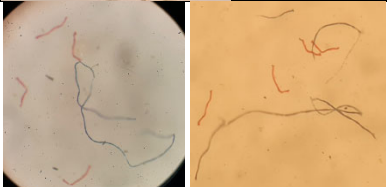
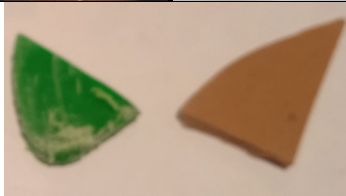
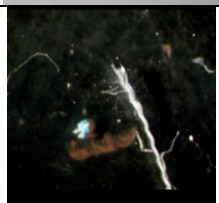
Аналіз розподілу фрагментів пластику відносно точок пробовідбору в межах різних ділянок пляжу засвідчив загальну тенденцію збільшення їх кількості та різноманіття в центральній частині (за вищенаведеною схемою). Такий закономірності, судячи з об'єктивних причин, є два пояснення, які не дають змогу визначити найвпливовіший фактор та взаємовиключають впливи одне одного. Зокрема, це можна розглядати як прямий зв'язок між ступенем засмічення пляжу та кількістю відпочивальників, а також як зміни природних факторів розподілу осадової речовини у хвилеприбійній зоні. Останнє пов'язане з наближенням периферійних ділянок відбору до абразійних кліфів, а також зміною гранулометричного складу піску на більш дрібнодисперсний порівняно із центральною частиною пляжу.

Таблиця 1

Основні ідентифіковані (представницькі) компоненти пластикового сміття (та продуктів полімеризації природних компонентів), відібрані шляхом фільтрації зворотних потоків води в напрямку суходіл – море, спричинених хвильовою активністю в межах пляжевої зони м. Южне розміром понад 0,5 см				
Об'єкт	Типовий вигляд	Вид пластику	Щільність, г/см ³ (за характеристиками)	Умовний відсоток
Щільні обгортки від цукерок, їх фрагменти		Поліпропілен (PP) синтетичний полімер, продукт полімеризації пропілену	0,9–0,93 г/см ³	значна кількість
Одноразові трубочки для напоїв		Поліпропілен синтетичний полімер, продукт полімеризації пропілену	0,9–0,93 г/см ³	значна кількість
Цигаркові фільтри		Ацетатне волокно – оцтовий ефір целюлози (ацетилцелюлоза), продукт полімеризації природних компонентів		суттєва кількість
Пластиковий посуд. Фото: фрагменти стаканів		Поліпропілен синтетичний полімер, продукт полімеризації пропілену	0,9–0,93 г/см ³	суттєва кількість
Фрагменти риболовних знарядь, зокрема сітки		синтетичні поліамідні матеріали (нейлон, капрон)	1,01–1,24 г/см ³	незначна кількість
Пластикові кришки від пляшок та їх фрагменти, втулки, ущільнювачі під металеві кришки		Поліетилен високої щільності, низького тиску (HDPE), полімер аліфатичного органічного вуглеводня олефінового ряду етилену	0,93–0,97 г/см ³	незначна кількість
Фрагменти чи складові пластикових іграшок, зокрема "лего"		АБС-пластик (Акрилонітрил-бутадієнстирол), удароміцна технічна термопластична смола на основі кополімеру акрилонітрилу з бутадієном і стиролом	1,080 г/см ³	окремі екземпляри
Фрагменти гуми та гумові стрічки		Натуральний чи синтетичний каучук	Для ідентифікованих фрагментів – 1,2–1,28 г/см ³	окремі екземпляри
Фрагменти одягу. Фото: атласна стрічка з синтетичного волокна		Поліестери – полімери, одержувані поліконденсацією багатоосновних кислот з багатоатомними спиртами	1,38 г/см ³	окремі екземпляри

Таблиця 2

Основні ідентифіковані (представницькі) компоненти пластикового сміття, відібрані шляхом фільтрації зворотних потоків води в напрямку суходіл – море, спричинених хвильовою активністю в межах пляжевої зони м. Южне розміром менш як 0,5 см

Об'єкт	Типовий вигляд	Вид пластику	Щільність, г/см ³	Приблизний відсоток
Дрібні фрагменти огорток, пакетів		Поліпропілен PP, Поліетилен низької щільності (LDPE)	0,9–0,93 г/см ³ 0,91–0,96 г/см ³	значна кількість
Синтетичні волокна кольорові різної довжини та розміру		Поліамід, поліестр, поліпропілен	0,95–1,38 г/см ³	значна кількість
Зерна пінопласту		У пробах фіксувався безпресовий поліпропілен	1,069–1,125 г/см ³ (для поліпропілену не спіненого)	значна кількість
Фрагменти чи складові пластикових виробів невизначеної належності		В більшості – щільний пластик непрозорий, різних кольорів, гострокутні уламки, за складом – поліпропілен, поліетилен	0,9–0,96 г/см ³ ; понад 1 г/см ³	суттєва кількість
Фрагменти цигаркових фільтрів		Ацетатне волокно – оцтовий ефір целюлози (ацетилцелюлоза)		достатня кількість
Поролон		Пінополіуретан синтетичний пористий матеріал на основі поліуретану, в пробах фіксувався еластичний поролон	1,18 г/см ³	незначна кількість
Уламки одноразового посуду		Полістірол	1,07 г/см ³	незначна кількість
Фрагмент риболовних знарядь та інше – виті мотузки, синтетичні нити		Синтетичні поліамідні матеріали (нейлон, капрон)	1,15 г/см ³	незначна кількість
Утворення невідомого складу та генезису, візуально сприймаються як антропогенна складова		Інтенсивність фотолюмінесценції в ході лабораторних вимірювань не дала змогу ідентифікувати як фрагменти пластику	Об'єкти утримуються на плаву в концентрованому розчині хлористого цинку (0,18 г/см ³)	значна кількість

Дискусія і висновки

По-перше, слід зазначити, що застосований нами метод фільтрації мікропластику з поверхневих водотоків, незважаючи на результативність, не є методично обґрунтованим способом пробовідбору, і це поки що унеможливає кількісну оцінку вмісту синтетичних полімерів у межах пляжних зон. З іншої боку, можливість концентрування фактичного матеріалу в процесі пасивного пробовідбору за допомогою пасток із фільтрувального полотна, які доцільно встановлювати на шляхах зворотних хвильових водотоків, дає змогу більш детально та повно вивчати розподіл на узбережжях найбільш мобільної складової пластикового сміття та мікропластику. У майбутньому такий методичний підхід може сприяти створенню та дослідній експлуатації масштабних стаціонарних пасток із значним терміном експозиції, принципом роботи яких буде оснований на сепарації морського сміття у хвильовій зоні узбереж (пляжів) під час штормів за рахунок руху водних потоків у прямому і зворотному напрямках (Ємельянов та ін., 2023).

Наші дослідження засвідчили, що основна частина пластику має високу міграційну здатність у межах прибіжних ділянок, що визначається переносом потоками площинного стоку в періоди хвильової активності та відсутністю сталої компоненти в товщі піску в межах пляжу. Водночас також відбувається активне перенесення зворотними хвильовими потоками мінеральної природної компоненти піщаної та алеврито-пелітової розмірності, а також фрагментів пластиків, щільність яких вища за одиницю.

Іншою визначеною особливістю є факт перерозподілу мікропластику в межах пляжної зони, це фіксується переважно в пробах поверхневого шару піску, що відбиравались стандартним методом. У піщаних відкладах з точок 1 та 3 (рис. 1) східної та західної крайових частин пляжу кількість одиниць мікропластику значно менша, ніж у центральній частині. Це може свідчити як на користь припущення, що переважна кількість залишків полімерних виробів на пляжі пов'язана з місцевими джерелами надходження, так і вказувати на різні природні геоморфологічні умови – активну літодинаміку наносів вузьких пляжів у межах берегових уступів, що розмиваються. На користь останньої версії свідчить і факт відсутності обкатаності чи відшліфованості гострих кутів відібраних зразків пластиків, що, вірогідно, є ознакою нетривалого перебування уламків у межах гідродинамічно активних зон морського узбережжя.

Показовим фактом є те, що для різних категорій розмірності пластикових фрагментів достатньо кардинально змінюється їх видовий склад. Полімерні синтетичні об'єкти розміром понад 1 см представлені переважно поліпропіленом, полістиролом та виробами з поліетилену високої щільності, більшість з яких стосуються харчової промисловості, а в економічному сенсі – сфери послуг (одноразовий посуд, різноманітна харчова упаковка, тара для напоїв, ін.). У категорії більш дрібної розмірності пластикових фрагментів розширюється як видовий спектр полімерів, так і їх належність до різних економічних сегментів використання, водночас, вірогідно, продовжує домінувати побутова складова та сфера розваг.

Синтетичні волокна, що становлять більшість об'єктів найдрібнішої гранулометричної фракції – менш як 0,1 мм, присутні повсюдно і в значному кількісному складі, розрізняючись візуально за такими параметрами, як колір і довжина.

Отже, співвідношення категорій розмірностей відібраних компонентів пластиків та мікропластиків за загальним вмістом у пробах засвідчило низку особливостей різних тематичних груп синтетичних полімерів. Домінуючою категорією є пластиковий одноразовий посуд та аксесуари для харчування, які, вірогідно, слід вважати елементом впливу місцевого характеру та похідною сфери послуг. Проте, якщо в абсолютному обсязі і масі об'єктів безумовно домінують синтетичні полімери розмірністю понад 0,5 мм, то в кількісному відношенні найширше представлена категорія мікропластику. Також виникає логічне питання щодо кардинальної зміни видів пластиків (за хімічним складом, економічним призначенням тощо) для різних категорій їх розмірності – де акумулюються мікропластики – продукти розкладу пластикового сміття, представленого у складі пляжних наносів, і з яких джерел та об'єктів, відсутніх у складі цих компонентів у межах ділянки досліджень, надходить зафіксована дрібнодисперсна компонента.

Також у рамках проведених досліджень неможливо визначити, за наявним фактичним матеріалом та отриманими результатами, вагу та розподіл факторів впливу на засмічення пластиковими виробами та мікропластиком пляжевої зони. На це міг би дати відповідь моніторинг ділянки протягом року, зокрема в різні сезони, коли змінюється антропогенне навантаження місцевого характеру чи збільшується хвильова активність моря.

Внесок авторів: Володимир Ємельянов – концептуалізація, методологія, написання (перегляд і редагування); Євген Наседкін – концептуалізація, методологія, написання (оригінальна чернетка, перегляд і редагування); Олена Іванік – концептуалізація, методологія, написання (оригінальна чернетка, перегляд і редагування); Тамара Куковська – написання (перегляд і редагування); Володимир Юхимчук – програмне забезпечення, формальний аналіз, написання (перегляд і редагування); Олександра Митрофанова – формальний аналіз, написання (перегляд і редагування).

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

Список використаних джерел

- Ємельянов, В. О., Наседкін, Є. І., Куковська, Т. С., & Митрофанова, О. А. (2021). Щодо розподілу пластикового сміття в межах хвильеприбіжної зони пляжу міста Южне. *Геологія і корисні копалини Світового океану*, 17(3), 34–41. <https://doi.org/10.15407/gpimo2021.03.034>
- Ємельянов, В. О., Наседкін, Є. І., Куковська, Т. С., Шураєв, І. М., & Митрофанова, О. А. (2023). Проектування обладнання для спостереження розподілу пластикового сміття у хвильеприбіжних зонах. *Геологія і корисні копалини Світового океану*, 19(1), 69–78. <https://doi.org/10.15407/gpimo2023.01.069>
- Український, В., Золотарьов, Г., Балакін, В., & Золотарьов, М. (2018). Базова оцінка та визначення Доброго екологічного стану (ДЕС) морського середовища Чорного моря в межах виключної морської економічної зони України. Оцінка процесів сучасної реседиментації на шельфі Чорного моря. Т. 2. *Звіт про НДР*. https://sea.gov.ua/img/reports/2018_old/Theme_1_part2.pdf
- Andrady, A. L. (2011). Microplastics in the marine environment. *Marine Pollution Bulletin*, 62(8), 1596–1605. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2011.05.030>
- Arthur, C., Baker, J., & Bamford, H. (2009). Proceedings of the International Research Workshop on the Occurrence, Effects and Fate of Microplastic Marine Debris. National Oceanic and Atmospheric Administration Technical Memorandum NOS-OR&R-30. https://www.researchgate.net/publication/285484205_Proceedings_of_the_International_Research_Workshop_on_the_Occurrence_Effects_and_Fate_of_Microplastic_Marine_Debris
- Aytan, Ü., Pogojeva, M., & Simeonova, A. (2020). Marine Litter in the Black Sea. Turkish Marine Research Foundation (TUDAV) Publication No: 56. Istanbul.
- Collignon, A., Hecq, J.-H., Galgani, F., Collard, F., & Goffart, A. (2014). Annual variation in neustonic micro- and meso-plastic particles and zooplankton in the Bay of Calvi (Mediterranean–Corsica). *Marine Pollution Bulletin*, 79(1–2), 293–298. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2013.11.023>

Constant, M., Ludwig, W., Kerhervé, Ph., Sola, J., Charrière, B., Sanchez-Vidal, A., Canals, M., & Heussner, S.S. (2020). Microplastic fluxes in a large and a small Mediterranean river catchments: The Têt and the Rhône. *Northwestern Mediterranean Sea, Science of The Total Environment*, 716, 136984. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.136984>

Falahudin, D., Cordova, M.R., Sun, X., Yogaswara, D., Wulandari, I., Hindarti, D., & Arifin, Z. (2020). The first occurrence, spatial distribution and characteristics of microplastic particles in sediments from Banten Bay, Indonesia. *Science of The Total Environment*, 705, 135304. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135304>

Kershaw, P. J., Turra, A., & Galgani, F. (2019). Guidelines or the monitoring and assessment of plastic litter and microplastics in the ocean. *Rep. Stud. GESAMP*, 99.

Imhof, H., Schmid, J., Niessner, R., Ivleva, N., & Laforsch, C. (2012). A novel highly efficient method for the separation and quantification of plastic particles in sediments of aquatic environments. *Limnol. Oceanogr.: Methods*, 10, 524–537. <https://doi.org/10.4319/lom.2012.10.524>

Löder, M. G. J., & Gerdts, G. (2015). Methodology Used for the Detection and Identification of Microplastics – A Critical Appraisal. In: M. Bergmann, L. Gutow, M. Klages (Eds.), *Marine Anthropogenic Litter*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-16510-3_8

Săvucă, A., Strungaru, Ș. A., Nicoară, M., & Plăvan, G. (2017). A study regarding the pollution of sediments from Romanian Black Sea Coast with microplastic fibers. *Analele Științifice ale Universității "Alexandru Ioan Cuza" din Iași, s. Biology Animations*, 63, 85–90.

Şener, M., Doğruyol, P., & Balkaya, N. (2019). Microplastic pollution in the Black Sea Coast of the Anatolian side of Istanbul Turkey. *Desalination and Water Treatment*, 172, 351–358. <https://doi.org/10.5004/dwt.2019.25111>, https://www.deswater.com/DWT_articles/vol_172_papers/172_2019_351.pdf

References

Andrady, A. L. (2011). Microplastics in the marine environment. *Marine Pollution Bulletin*, 62(8), 1596–1605. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2011.05.030>

Arthur, C., Baker, J., & Bamford, H. (2009). Proceedings of the International Research Workshop on the Occurrence, Effects and Fate of Microplastic Marine Debris. National Oceanic and Atmospheric Administration Technical Memorandum NOS-OR&R-30. https://www.researchgate.net/publication/285484205_Proceedings_of_the_International_Research_Workshop_on_the_Occurrence_Effects_and_Fate_of_Microplastic_Marine_Debris

Aytan, Ü., Pogojeva, M., & Simeonova, A. (2020). Marine Litter in the Black Sea. Turkish Marine Research Foundation (TUDAV) Publication No: 56. Istanbul.

Collignon, A., Hecq, J.-H., Galgani, F., Collard, F., & Goffart, A. (2014). Annual variation in neustonic micro- and meso-plastic particles and zooplankton in the Bay of Calvi (Mediterranean–Corsica). *Marine Pollution Bulletin*, 79(1–2), 293–298. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2013.11.023>

Constant, M., Ludwig, W., Kerhervé, Ph., Sola, J., Charrière, B., Sanchez-Vidal, A., Canals, M., & Heussner, S. S. (2020). Microplastic fluxes in a large and a small Mediterranean river catchments: The Têt and the Rhône. *Northwestern Mediterranean Sea, Science of The Total Environment*, 716, 136984. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.136984>

Falahudin, D., Cordova, M.R., Sun, X., Yogaswara, D., Wulandari, I., Hindarti, D., & Arifin, Z. (2020). The first occurrence, spatial distribution and characteristics of microplastic particles in sediments from Banten Bay, Indonesia. *Science of The Total Environment*, 705, 135304. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135304>

Iemelyanov, V. O., Nasedkin, E. I., Kukovska, T. S., Mitrofanova, O. A. (2021). Regarding the distribution of plastic waste within the surf zone of the beach of the city of Yuzhne. *Geology and Minerals of the World Ocean*, 17(3), 34–41 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.15407/gpimo2021.03.034>

Iemelyanov, V. O., Nasedkin, E. I., Kukovska, T. S., Shuraev, I. M., Mitrofanova, O. A. (2023). Designing equipment for monitoring the distribution of plastic waste in surf zones. *Geology and Minerals of the World Ocean*, 19(1), 69–78 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.15407/gpimo2023.01.069>

Imhof, H., Schmid, J., Niessner, R., Ivleva, N., & Laforsch, C. (2012). A novel highly efficient method for the separation and quantification of plastic particles in sediments of aquatic environments. *Limnol. Oceanogr.: Methods*, 10, 524–537. <https://doi.org/10.4319/lom.2012.10.524>

Kershaw, P. J., Turra, A., & Galgani, F. (2019). Guidelines or the monitoring and assessment of plastic litter and microplastics in the ocean. *Rep. Stud. GESAMP*, 99.

Löder, M. G. J., & Gerdts, G. (2015). Methodology Used for the Detection and Identification of Microplastics – A Critical Appraisal. In: M. Bergmann, L. Gutow, M. Klages (Eds.), *Marine Anthropogenic Litter*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-16510-3_8

Săvucă, A., Strungaru, Ș. A., Nicoară, M., & Plăvan, G. (2017). A study regarding the pollution of sediments from Romanian Black Sea Coast with microplastic fibers. *Analele Științifice ale Universității "Alexandru Ioan Cuza" din Iași, s. Biology Animations*, 63, 85–90.

Şener, M., Doğruyol, P., & Balkaya, N. (2019). Microplastic pollution in the Black Sea Coast of the Anatolian side of Istanbul Turkey. *Desalination and Water Treatment*, 172, 351–358. <https://doi.org/10.5004/dwt.2019.25111>, https://www.deswater.com/DWT_articles/vol_172_papers/172_2019_351.pdf

Ukrainskiy, V., Zolotaryov, G., Balakin, V., & Zolotaryov M. (2018). Basic assessment and determination of the Good Ecological Status (GES) of the marine environment of the Black Sea within the exclusive maritime economic zone of Ukraine. Assessment of modern resedimentation processes on the Black Sea shelf. Vol. 2. *Report on the NDR* [in Ukrainian]. https://sea.gov.ua/img/reports/2018_old/Theme_1_part2.pdf

Отримано редакцією журналу / Received: 13.09.23
Прорецензовано / Revised: 09.12.23
Схвалено до друку / Accepted: 21.02.24

Volodymyr YEMELIANOV¹, DSc (Geol. & Mineral.),
Corresponding Member of the National Academy of Sciences of Ukraine
ORCID ID: 0000-0002-8972-0754
e-mail: eva@nas.gov.ua

Yevgen NASIEDKIN², PhD (Geol.), Senior Researcher
ORCID ID: 0000-0003-2633-9291
e-mail: nasedevg@ukr.net

Olena IVANIK³, DSc (Geol.), Prof.
ORCID ID: 0000-0002-8782-4883
e-mail: om.ivanik@gmail.com,

Tamara KUKOVSKA⁴, PhD (Geol.), Senior Researcher
ORCID ID: 0000-0001-7532-8885
e-mail: t.kukovska@gmail.com

Volodymyr YUKHYMCHUK⁴, DSc (Phys. & Math.), Prof.
ORCID ID: 0000-0002-5218-9154
e-mail: v.yukhymchuk@gmail.com

Oleksandra MYTROPANOVA¹, PhD Student
ORCID ID: 0000-0001-5971-9122
e-mail: mitrof_ol@ukr.net

¹Center for Problems of Marine Geology, Geoecology and Sedimentary Ore Formation of NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine

²Institute of Geological Sciences of NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine

³Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine

⁴V. Lashkaryov Institute of Semiconductor Physics NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine

DISTRIBUTION OF MACRO- AND MICRO-PLASTICS WITHIN THE BEACH ZONES OF INTERCONTINENTAL SEAS (CASE STUDY FOR YUZHNE CITY, UKRAINE)

Background. Suburban beaches within the Ukrainian coast of the northwestern shelf of the Black Sea, taking into account the density of industrial and social infrastructure, the proximity to the confluence of large rivers with significant catchment areas into the sea, are indicative of objects for carrying out regulatory studies of the distribution of plastic waste and microplastics in the components of the environment.

Methods. The regularities of the distribution of plastic waste and microplastics within the coastal zone of the north-western part of the Black Sea were determined using the example of test sites in the city of Yuzhne (Odesa region, Ukraine). To analyze the quantitative and qualitative

characteristics of the synthetic material and to determine the features of its formation, distribution and accumulation in the coastal zone, the method of filtering water flows of the surface runoff was used. Visual analysis of plastic polymers was performed and their types were determined using spectroscopy and OPUS 7.5 software.

Results. The results of Raman spectroscopy studies proved that the majority of selected samples of macro- and microplastics are represented by polypropylene, polyethylene and polystyrene. It has been confirmed that the main part of the plastic has a high migration capacity within the coastal areas, which is determined by the transport of runoff during periods of wave activity and the absence of a permanent component in the sand layer within the beach. It was determined that for different dimensional categories of plastic fragments, their species composition changes radically. Polymeric synthetic objects larger than 1 cm are represented mainly by polypropylene, polystyrene, and high-density polyethylene products. In the category of finer dimensions of plastic fragments, both the species spectrum of polymers and their belonging to different economic segments of use is expanding. Synthetic fibers, which make up the majority of objects of the smallest particle size fraction - less than 0.1 mm - are present everywhere and in significant quantitative composition.

Conclusions. Research shows that the parameters of the coastline (width, length, slope, shape, presence of vegetation, anthropogenic variability), hydrogen processes and the geological structure of the coastal zone have a significant impact on the formation of the conditions for the accumulation of plastics and microplastics. In order to further study the factors influencing the pollution of the beach area by plastic products and microplastics, monitoring studies are needed within the presented test areas.

Keywords: pollution, plastic waste, microplastic, Black Sea, coastal zone, lithodynamics.

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів. Спонсори не брали участі в розробленні дослідження; у зборі, аналізі чи інтерпретації даних; у написанні рукопису; в рішенні про публікацію результатів.

The authors declare no conflicts of interest. The funders had no role in the design of the study; in the collection, analyses or interpretation of data; in the writing of the manuscript; in the decision to publish the results.