

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна

Навчально-науковий інститут екології, зеленої енергетики та сталого розвитку

Кафедра екології та менеджменту довкілля

До захисту допущено

Кафедрою екології та менеджменту довкілля протокол № _____ від _____

В.о. завідувача кафедри _____ Андрій АЧАСОВ
(підпис) (ім'я, прізвище)

« _____ » _____ 2026 р.

Кваліфікаційна робота
здобувача першого (бакалаврського) рівня вищої освіти

Аналіз забруднення берегової зони м. Нячанг (В'єтнам) твердими побутовими
відходами та його екологічні наслідки
(назва роботи)

Спеціальність (спеціалізація) _____ 101 Екологія _____
(код та найменування спеціальності)

Освітня програма Екологія
(назва освітньої програми)

Виконавець _____ Давид НАУМЕНКО
(підпис) (ім'я, прізвище)

Науковий керівник _____ Ганна ТІТЕНКО
(підпис) (ім'я, прізвище)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ імені В. Н. КАРАЗІНА

Інститут: Навчально-науковий інститут екології, сталого розвитку та зеленої енергетики

Кафедра: екології та менеджменту довкілля

Рівень вищої освіти: бакалавр

Спеціальність 201 Агрономія

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. завідувача кафедри

_____ / проф. Андрій АЧАСОВ
підпис ім'я та прізвище

“__” _____ 2025 року

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ (ПРОЕКТ)

Давид НАУМЕНКО
(ім'я та прізвище)

Тема роботи: Аналіз забруднення берегової зони м. Нячанг (В'єтнам) твердими побутовими відходами та його екологічні наслідки

керівник роботи Ганна ТІТЕНКО, кандидат географічних наук, доцент,
(ім'я, прізвище, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від “14” квітня 2026 року №3401-5/936

2. Строк подання студентом роботи 08.05.2026

3. Перелік питань, які потрібно розробити :

1. Теоретичні засади дослідження забруднення прибережних зон твердими побутовими відходами та екологічні наслідки такого забруднення для морських і берегових екосистем.

2. Фізико-географічні особливості м. Нячанг і затоки Нячанг як району дослідження, а також основні чинники антропогенного навантаження на берегову зону.

3. Обґрунтування вибору дослідних ділянок різного функціонального типу та методика натурних обстежень макросміття із застосуванням цифрового інструментарію.

4. Кількісна та типологічна оцінка забруднення берегової зони м. Нячанг твердими побутовими відходами за матеріальним складом, джерелами походження та просторовим розподілом.

5. Екологічні наслідки забруднення дослідних ділянок і практичні рекомендації щодо моніторингу та зниження рівня забруднення берегової зони м. Нячанг.

4. План роботи

№ з/п	Назви етапів роботи
1	Визначення теми, мети, об'єкта, предмета та завдань кваліфікаційної роботи.
2	Опрацювання наукових джерел щодо забруднення прибережних зон твердими побутовими відходами, зокрема у країнах Південно-Східної Азії та В'єтнамі.
3	Характеристика району дослідження м. Нячанг і берегової зони затоки Нячанг з урахуванням природних умов, туристичного, рибальського, аквакультурного та урбанізаційного навантаження.
4	Обґрунтування вибору п'яти типологічно контрастних дослідних ділянок берегової зони та розроблення методики польового обстеження.
5	Проведення натурних обстежень, фіксація макросміття на трансектах, класифікація відходів за матеріалом, джерелом походження та розміром, цифрове документування результатів.
6	Обробка, узагальнення та порівняльний аналіз отриманих даних щодо рівня, структури й просторових особливостей забруднення дослідних ділянок.
7	Формулювання висновків і практичних рекомендацій щодо моніторингу, управління та зниження забруднення берегової зони м. Нячанг твердими побутовими відходами.

5. Дата видачі завдання студенту « 09 » червня 2025 року

Студент

підпис

Давид НАУМЕНКО

ім'я і прізвище

Керівник роботи

підпис

доц. Ганна ТІТЕНКО

ім'я і прізвище

АНОТАЦІЯ

**АНАЛІЗ ЗАБРУДНЕННЯ БЕРЕГОВОЇ ЗОНИ м. НЯЧАНГ ТВЕРДИМИ
ПОБУТОВИМИ ВІДХОДАМИ ТА ЙОГО ЕКОЛОГІЧНІ НАСЛІДКИ**

Давид НАУМЕНКО

Кваліфікаційна робота «Аналіз забруднення берегової зони м. Нячанг твердими побутовими відходами та його екологічні наслідки» містить 79 сторінок основного тексту, 3 розділи, 13 таблиць, 27 рисунків, 21 використаних джерел та 4 додатки.

Мета роботи. Оцінити рівень забруднення твердими побутовими відходами берегової зони м. Нячанг на типологічно контрастних ділянках, встановити структурні особливості забруднення та його екологічні наслідки, а також сформулювати рекомендації щодо моніторингу і зниження забруднення.

Актуальність теми. В'єтнам входить до четвірки країн світу за обсягами викидів пластику в океан, а затока Нячанг визначена як один із світових осередків пластикового забруднення з середньою щільністю відходів, що на порядок перевищує середньосвітові показники. Попри значну кількість регіональних досліджень, у наявних роботах відсутній порівняльний аналіз ділянок різного функціонального типу в межах єдиної затоки з одночасною оцінкою типологічної структури відходів та їх екологічних наслідків - що обумовлює актуальність дослідження як з наукової, так і з природоохоронної точки зору.

Об'єкт дослідження - берегова зона затоки Нячанг як прибережна екосистема, що зазнає антропогенного тиску; дослідження охоплює п'ять типологічно різнофункціональних ділянок: туристичний пляж, рибальсько-аквакультурну зону, гирло річки Кай, умовно-контрольну периферійну ділянку та мангровий масив лагуни Đầm Nha Phu.

Предмет дослідження - кількісні і типологічні показники забруднення макросміттям, чинники його просторового розподілу та екологічні наслідки на ділянках різного функціонального типу.

Методи дослідження. Польовий етап виконано методом разового обліку накопиченого сміття (standing stock approach) відповідно до рекомендацій NOAA на трансектах завдовжки 50 м з реєстрацією відходів розміром понад 2,5 см; на трьох ділянках проведено рН-метрію прибережних вод. Збір і документування польових даних здійснювались за допомогою мобільного застосунку власної розробки (React + Firebase Firestore).

Результати. На загальній площі трансект 3 850 м² зафіксовано 2 122 одиниці макросміття із середньою щільністю 0,551 од./м²; концентрація варіює між ділянками у 4,3 раза, а на всіх обстежених точках зафіксовано багатократне перевищення граничних значень ЄС для забруднення макросміттям. Полімерні матеріали (пластик і пінополістирол) становлять 78,5% від загальної кількості одиниць, побутове походження ідентифіковано у 73,4% предметів. Виявлено чотири структурні аномалії, найбільш значущою з яких є домінування будівельних відходів у мангровому масиві Đầm Nha Phu (63,9% будівельного походження) - тип навантаження, не описаний у попередніх дослідженнях мангрових екосистем регіону. Сформульовано чотирифакторну модель формування прибережного забруднення, що враховує взаємодію прямого антропогенного навантаження, управлінського втручання, гідродинамічного перерозподілу і морфології берега. Отримані дані є першим кількісним baseline для берегової зони затоки Нячанг, а розроблений мобільний застосунок - готовим інструментом для систематичного відтворення методики обстежень.

ТВЕРДІ ПОБУТОВІ ВІДХОДИ, БЕРЕГОВА ЗОНА, ЗАТОКА НЯЧАНГ,
ТИПОЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ, МАКРОСМІТТЯ, МАНГРОВА ЕКОСИСТЕМА,
МОНІТОРИНГ ЗАБРУДНЕННЯ

ABSTRACT

ANALYSIS OF SOLID WASTE POLLUTION OF THE COASTAL ZONE OF NHA TRANG CITY AND ITS ECOLOGICAL CONSEQUENCES

David NAUMENKO

The bachelor's qualification thesis "Analysis of solid waste pollution of the coastal zone of Nha Trang city and its ecological consequences" consists of 79 pages of main text, 3 chapters, 13 tables, 27 figures, 21 references, and 4 appendices.

The aim of the study. To assess the level of solid waste pollution of the coastal zone of Nha Trang across typologically contrasting sites, characterise the structural composition and ecological implications of the pollution, and formulate recommendations for monitoring and mitigation.

Relevance of the topic. Vietnam is among the top four countries globally in terms of plastic waste discharge into the ocean, and Nha Trang Bay has been identified as one of the world's hotspots of plastic pollution with mean debris density exceeding global averages by an order of magnitude. Despite a substantial body of regional research, no published study provides a comparative analysis of functionally distinct sites within a single bay with simultaneous assessment of typological waste composition and its ecological consequences - which substantiates the relevance of this research from both scientific and conservation perspectives.

Object of the study - the coastal zone of Nha Trang Bay as a nearshore ecosystem subject to anthropogenic pressure; the research covers five functionally contrasting sites: a tourist beach, a fishing and aquaculture zone, the mouth of the Cai River, a peri-urban reference site, and the mangrove area of Đầm Nha Phu lagoon.

Subject of the study - quantitative and typological indicators of macrolitter pollution, factors of its spatial distribution, and ecological consequences across sites of different functional types.

Research methods. Fieldwork was conducted using the NOAA standing stock approach on 50 m transects, recording all items ≥ 2.5 cm along the longest axis; water

pH was measured at three sites with vertical profiling. Field data collection and storage were performed using a custom-built mobile application (React + Firebase Firestore).

Results. Across a total surveyed area of 3,850 m², 2,122 macrolitter items were recorded at a mean density of 0.551 items/m²; density varied 4.3-fold between sites, and all surveyed locations exceeded EU threshold values for macrolitter pollution by a substantial margin. Polymeric materials (plastic and expanded polystyrene) accounted for 78.5% of all recorded items, while 73.4% of items were identified as household in origin. Four structural anomalies were identified; the most significant is the dominance of construction waste in the Đầm Nha Phu mangrove area (63.9% construction-derived) - a type of anthropogenic pressure not previously documented for mangrove ecosystems in the region. A four-factor model of coastal pollution formation was formulated, incorporating the interaction of direct anthropogenic pressure, active site management, hydrodynamic redistribution, and coastal morphology. The dataset constitutes the first quantitative pollution baseline for the coastal zone of Nha Trang Bay; the developed mobile application provides a ready-to-deploy tool for standardised repeat surveys within future monitoring programmes.

SOLID WASTE POLLUTION, COASTAL ZONE, NHA TRANG BAY,
TYPOLOGICAL ANALYSIS, MACROLITTER, MANGROVE ECOSYSTEM,
COASTAL POLLUTION MONITORING

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ	9
ВСТУП.....	10
РОЗДІЛ 1 ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАБРУДНЕННЯ ПРИБЕРЕЖНИХ ЗОН ТВЕРДИМИ ПОБУТОВИМИ ВІДХОДАМИ	13
1.1. Проблема забруднення прибережних зон у країнах Південно-Східної Азії	13
1.2. Класифікація та джерела утворення твердих побутових відходів у прибережних зонах	14
1.3. Екологічні наслідки забруднення берегових зон відходами для морських екосистем	16
РОЗДІЛ 2 РАЙОН, МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ	20
2.1. Фізико-географічна характеристика м. Нячанг та затоки Нячанг	20
2.2. Характеристика антропогенного навантаження на берегову зону (туризм, рибальство, урбанізація).....	21
2.3. Вибір дослідних ділянок та обґрунтування їх репрезентативності	23
2.4. Методика натурних обстежень та обробки даних	25
РОЗДІЛ 3 РЕЗУЛЬТАТИ ОЦІНКИ ЗАБРУДНЕННЯ БЕРЕГОВОЇ ЗОНИ . НЯЧАНГ ТА ЙОГО ЕКОЛОГІЧНІ НАСЛІДКИ	30
3.1. Кількісна оцінка забруднення дослідних ділянок	30
3.2. Типологічна структура відходів за матеріалом та джерелом походження	32
3.3. Порівняльний аналіз рівня забруднення ділянок різного функціонального типу	37
3.4. Екологічні наслідки забруднення дослідних ділянок	41
3.5. Порівняння одержаних результатів із даними аналогічних досліджень...	43
3.6. Рекомендації щодо моніторингу та зниження забруднення.....	46
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	52
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	55
Додаток А	59
Додаток Б.....	60
Додаток В	65
Додаток Г	69

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

ЄС	Європейський Союз
ПСА	Південно-Східна Азія
FTIR	Fourier-Transform Infrared spectroscopy (інфрачервона спектроскопія з Фур'є-перетворенням)
GPS	Global Positioning System (глобальна система позиціонування)
LDPE	Low-Density Polyethylene (поліетилен низької густини)
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration (Національне управління з океанічних і атмосферних досліджень США)
PS	Polystyrene (полістирол)
WGS-84	World Geodetic System 1984 (Світова геодезична система 1984 року)

ВСТУП

Забруднення прибережних зон твердими побутовими відходами є однією з найгостріших екологічних проблем сучасності: пластикові відходи становлять понад 80% загального обсягу морського сміття [1], а щороку з суходолу до Світового океану надходить від 4,8 до 12,7 млн т пластику [2]. Регіон Південно-Східної Азії є одним із найбільш уражених, і В'єтнам посідає в ньому особливе місце : країна входить до четвірки світових лідерів за обсягами викидів пластику в океан, щорічно втрачаючи від 280 до 730 тис. т пластикових відходів [2, 3]. У цьому контексті затока Нячанг є показовим об'єктом дослідження: місто приймає понад 7 млн відвідувачів на рік [2], одночасно є великим рибальсько-аквакультурним центром і охоплює морський заповідник з кораловими рифами, рівень живого покриву яких скоротився до менш ніж 25% [2]. Попри значну кількість регіональних досліджень із загальної характеристики забруднення, у наявних роботах [2, 4, 5] відсутній порівняльний аналіз ділянок різного функціонального типу в межах єдиної затоки з одночасною оцінкою типологічної структури відходів та їх екологічних наслідків. Наслідком цього є брак baseline-даних, необхідних для прийняття конкретних управлінських рішень щодо моніторингу і зниження забруднення на локальному рівні. У зв'язку з цим дослідження прибережного забруднення на типологічно контрастних ділянках затоки Нячанг є актуальним як з наукової, так і з природоохоронної точки зору.

Мета роботи - оцінити рівень забруднення твердими побутовими відходами берегової зони м. Нячанг на типологічно контрастних ділянках, встановити структурні особливості забруднення та його екологічні наслідки. Для досягнення поставленої мети сформульовано рекомендації щодо моніторингу і зниження забруднення берегової зони.

Завдання дослідження:

1. Здійснити аналіз наукової літератури з проблематики забруднення прибережних зон Південно-Східної Азії твердими побутовими відходами.
2. Надати фізико-географічну характеристику району дослідження та обґрунтувати вибір дослідних ділянок за типологічним принципом.

3. Розробити методику натурних обстежень із застосуванням цифрового інструментарію власної розробки.

4. Провести польові обстеження та отримати кількісні й структурні показники забруднення на п'яти типологічно контрастних ділянках.

5. Виявити причинно-наслідкові зв'язки між функціональним типом ділянки і профілем забруднення.

6. Сформулювати практичні рекомендації щодо моніторингу і зниження забруднення берегової зони м. Нячанг.

Об'єкт дослідження - берегова зона м. Нячанг (провінція Кханьхоа, В'єтнам) як прибережна екосистема, що зазнає антропогенного забруднення твердими побутовими відходами; дослідження охоплює п'ять типологічно різнофункціональних ділянок у межах затоки Нячанг.

Предмет дослідження - кількісні і типологічні показники забруднення макросміттям, чинники його просторового розподілу та екологічні наслідки на ділянках різного функціонального типу.

Методи дослідження. Теоретичну основу роботи становлять аналіз і синтез наукової літератури з проблематики прибережного забруднення. Польовий етап виконано методом разового обліку накопиченого сміття (standing stock approach) відповідно до рекомендацій NOAA на трансектах завдовжки 50 м з реєстрацією відходів розміром понад 2,5 см (квітень–травень 2026 р.). Класифікація відходів проводилась за матеріальним складом, ймовірним джерелом походження та розмірним класом; на трьох ділянках виконано рН-метрію прибережних вод із вертикальним профілюванням. Збір і зберігання польових даних забезпечувались спеціально розробленим мобільним застосунком (React + Firebase Firestore), що забезпечує стандартизацію протоколу та цифрову документацію повного об'єму спостережень.

Апробація результатів роботи. Основні результати дослідження оприлюднено на XXVIII Міжнародній науково-практичній конференції «Екологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування: освіта - наука - виробництво - 2026» (м. Харків, 23–24 квітня 2026 р.) та опубліковано в збірнику матеріалів конференції.

Наукова новизна одержаних результатів.

1. Уперше виконано порівняльний типологічний аналіз забруднення берегової зони Нячанга на п'яти контрастних ділянках одночасно в межах єдиної затоки.

2. Виявлено домінування будівельних відходів у мангровому масиві Đầm Nha Phu - тип антропогенного навантаження, не описаний у попередніх дослідженнях мангрових екосистем регіону [6].

3. Сформульовано чотирифакторну модель формування забруднення прибережної зони, що враховує взаємодію прямого антропогенного навантаження, управлінського втручання, гідродинамічного перерозподілу і морфології берега; модель пояснює парадокс мінімальної концентрації відходів на туристичній і максимальної - на умовно-контрольній ділянці.

4. Розроблено мобільний застосунок для стандартизованих польових обстежень, придатний для відтворення методики у подальшому систематичному моніторингу.

Практичне значення одержаних результатів. Отримані дані є першим baseline для п'яти типологічно контрастних точок берегової зони затоки Нячанг і слугують відправною точкою для оцінки майбутньої динаміки забруднення. Результати дослідження є основою для конкретних управлінських рекомендацій, зокрема щодо включення периферійних ділянок у маршрути муніципального прибирання - де зафіксовано багатократне перевищення граничних значень ЄС для забруднення макросміттям - та інформаційної роботи з туристами щодо природоохоронного статусу затоки. Розроблений мобільний застосунок є готовим інструментом для систематичного відтворення методики обстежень іншими дослідниками та природоохоронними органами.

Апробація результатів дослідження. Результати кваліфікаційної роботи апробовано у формі доповіді на науковому семінарі за результатами кваліфікаційних робіт Навчально-наукового інституту екології, зеленої енергетики та сталого розвитку Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна (травень 2026 року).

РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАБРУДНЕННЯ ПРИБЕРЕЖНИХ ЗОН ТВЕРДИМИ ПОБУТОВИМИ ВІДХОДАМИ

1.1. Проблема забруднення прибережних зон у країнах Південно-Східної Азії

Забруднення прибережних зон твердими побутовими відходами є однією з найгостріших екологічних проблем сучасності. Пластикові відходи становлять понад 80% загального обсягу морського сміття [1], а їх накопичення в берегових екосистемах набуло характеру глобальної кризи: за оцінками Jambeck зі співавторами (наведено за [2]), щороку до Світового океану потрапляє від 4,8 до 12,7 млн т пластику з суходолу. Регіон Південно-Східної Азії є одним із найбільш уражених - тут зосереджено кілька країн-лідерів за обсягами неналежно утилізованих пластикових відходів, що пов'язано з поєднанням швидкої урбанізації, інтенсивного рибальства та масового туризму на тлі недостатньо розвиненої інфраструктури поводження з відходами [1].

В'єтнам займає особливе місце в цьому контексті. Країна має понад 3 260 км узбережжя з високою густотою прибережного населення та розвиненою аквакультурою, що формує значний обсяг відходів безпосередньо в прибережній зоні [3]. За даними, наведеними у роботах Fulfer et al. [2] та Dang [3], В'єтнам входить до четвірки країн світу з найвищими показниками викидів пластику в океан - від 280 до 730 тис. тонн щороку. За даними національного звіту WWF-Vietnam [7], переважна частина пластикових відходів країни потрапляє до прибережного середовища через річкові системи, тоді як ефективність поточних інструментів управління відходами залишається обмеженою. Ключову роль у транспортуванні відходів від суходолу до моря відіграють річкові системи: за оцінками Dang [3], близько 80% морського сміття у В'єтнамі має наземне походження, надходячи до прибережних вод через річки, зливові стоки та прямі викиди з населених пунктів. Річка Кай, що протікає через Нячанг, щороку виносить до океану орієнтовно 137 т пластикових відходів - за оцінками Meijer та ін. (наведено за [2]).

Регіон ПСА загалом характеризується специфічною структурою забруднення прибережних зон: поряд із побутовими відходами значну частку морського сміття формують рибальство та аквакультура [8]. За результатами узагальнення даних берегових прибирань у країнах ПСА за 2012–2022 рр., пластик становить понад 90% від загальної кількості зібраного сміття, а основними джерелами є одноразова упаковка, рибальське спорядження та піна з пінополістиролу [8]. Берегові зони функціонують як динамічні накопичувачі сміття, де концентрація відходів визначається не лише обсягами їх надходження, а й гідрологічними чинниками : припливами, штормовими явищами та річковими паводками [2].

Затока Нячанг у провінції Кханьхоа є показовим прикладом прибережної зони з надвисоким рівнем забруднення. Дослідження Fruergaard et al. [4] зафіксували на семи пляжах Нячанга середню щільність пластикового сміття $19,8 \pm 19,5$ од./м², що суттєво перевищує середньосвітові показники. Часовий ряд спостережень Fulfer et al. [2] підтвердив стабільно високий рівень забруднення: протягом чотирьох місяців на чотирьох ділянках узбережжя зафіксовано близько 74 000 одиниць сміття, причому піки концентрації чітко корелювали з опадами та паводками на річці Кай. Duong et al. [5] встановили, що у провінції Кханьхоа пластик становить 79% від загальної кількості морського сміття, а полістирол - 47% від усіх пластикових відходів, що вказує на аквакультуру та рибальство як домінуючі джерела забруднення. Поєднання туристичного, рибальського та урбанізованого навантаження в межах однієї затоки обґрунтовує вибір Нячанга як модельного об'єкта дослідження.

1.2. Класифікація та джерела утворення твердих побутових відходів у прибережних зонах

Тверді побутові відходи у прибережному середовищі охоплюють широкий спектр матеріалів антропогенного походження. Відповідно до методичних рекомендацій NOAA [9], усі тверді відходи класифікують насамперед за матеріальним складом: пластик, метал, скло, гума, папір та оброблена деревина,

текстиль та інші не ідентифіковані предмети. Паралельно застосовується розмірна класифікація, що виділяє чотири основні категорії: мегавідходи (>1 м), макровідходи (2,5 см – 1 м), мезовідходи (5 мм – 2,5 см) та мікровідходи (≤ 5 мм) [9]. Саме розмірна градація визначає методику польового обстеження: макро- та мегавідходи фіксуються візуально на трансектах, тоді як мезо- та мікрофракції потребують відбору проб ґрунту з наступним лабораторним аналізом.

Структура твердих побутових відходів у прибережній зоні В'єтнаму відображає загальнонаціональну проблему поводження з відходами. За даними Dang [3], близько 80% морського сміття у В'єтнамі має наземне походження, тоді як 20% надходить з морських джерел : рибальства, аквакультури та судноплавства. Серед наземних джерел домінують побутові та муніципальні відходи, що містять приблизно 44% пакування їжі та напоїв, 33% рибальського сміття та 23% загальногосподарських предметів [3]. Показово, що рівень переробки пластику у В'єтнамі становить лише близько 15%, тоді як щороку неналежним чином утилізується близько 3,6 млн т пластикових відходів - значна частина яких зрештою потрапляє до річок і прибережних вод [3]. Це обмеження підтверджується і у дослідженнях циркулярної економіки: переробка зібраного пластику в готову сировину залишається фрагментарною, а значна частка експортується для подальшої обробки до інших країн регіону [10].

Пластик є домінуючим матеріалом у складі прибережних відходів - як у В'єтнамі, так і глобально. У провінції Кханьхоа він становить 79% від загальної кількості зібраного сміття [5], що відповідає загальносвітовій тенденції, за якою пластик складає понад 80% морського сміття [1]. Типологія полімерів відображає специфіку місцевих джерел забруднення: на пляжах Нячанга та Кханьхоа переважають полістирол (PS - 47%), поліетилен низької густини (LDPE - 25%), поліетилен високої густини (HDPE - 15%) та поліпропілен (PP - 12%) [5]. Висока частка PS безпосередньо пов'язана з використанням пінополістирольних контейнерів в аквакультурі та рибній торгівлі, тоді як LDPE представлений переважно пластиковими пакетами, плівковою упаковкою та мотузками [4]. За типом предметів харчові контейнери складають 35,8% за кількістю одиниць, тоді

як мотузки та рибальські сітки домінують за масою - 34,9% та 15,6% відповідно [4].

Джерела утворення відходів у прибережній зоні Нячанга відображають поєднання трьох антропогенних векторів. Наземні джерела представлені побутовими відходами житлових кварталів, відходами туристичної інфраструктури та зливовими стоками, що виносять сміття з міської території через водозбір річки Кай [2, 3]. Морські джерела формуються переважно рибальством та аквакультурою: характерними предметами є пінополістирольні термоконтейнери, рибальські мотузки, сітки та буї [3]. За даними Fruergaard et al. [4], саме рибальсько-аквакультурна складова визначає структуру забруднення за масою - попри те, що за кількістю одиниць переважають дрібні побутові предмети. Туристичне навантаження центрального пляжу Нячанга додає потік одноразової упаковки, недопалків та пластикового посуду [3]. Взаємодія цих трьох джерел із гідродинамічними чинниками : припливами, паводками та штормами - визначає просторовий розподіл відходів між різними типами берегових ділянок, що детально розглядається у наступних розділах роботи.

1.3. Екологічні наслідки забруднення берегових зон відходами для морських екосистем

Забруднення прибережних зон твердими відходами спричиняє комплексний негативний вплив на морські екосистеми, що реалізується через фізичні, хімічні та екосистемні механізми. За даними Tekman et al. [11], загалом 2 788 видів морських організмів задокументовано як такі, що вступали у контакт з пластиком, причому наслідки таких взаємодій зафіксовано для 43% із них у польових та експериментальних дослідженнях. В експериментальних умовах шкідливий вплив пластику виявлено у 88% із 297 досліджених видів - що свідчить про масштаб загрози для морського біорізноманіття [11].

Фізичний вплив макровідходів реалізується передусім через заплутування та заковтування. За даними Gall та Thompson (наведено за [1]), проблеми

заковтування пластикових фрагментів задокументовано для 208 видів морських організмів (понад 13 000 особин), а заплутування - для 243 видів (понад 30 000 особин). Серед найбільш вразливих груп : морські черепахи, ссавці, птахи та риби [1]. Заплутування у рибальських сітках та мотузках призводить до обмеження рухливості, травм і загибелі, тоді як заковтування пластику спричиняє закупорку травного тракту, зниження харчової активності та виснаження організму [1]. Окремої уваги заслуговує фрагментація макропластику під дією сонячного випромінювання, механічного стирання та біодеградації: утворені мікропластикові частинки проникають у всі рівні трофічного ланцюга - від зоопланктону до великих хижаків [1].

Токсикологічний вплив мікропластику є не менш серйозною загрозою. Пластикові частинки здатні адсорбувати стійкі органічні забруднювачі, важкі метали та антибіотики з морського середовища, переносячи їх до тканин морських організмів через заковтування [1]. У В'єтнамі цей механізм детально задокументований для двостулкових молюсків: дослідження виявили концентрації мікропластику від 0,65 до 2,40 частинок/г у тканинах устриць та мідій уздовж усього узбережжя країни [3]. У затоці Нячанг забруднення мікропластиком підтверджено як у донних осадах, так і в тканинах промислових організмів, що створює ризики для місцевого рибальства та споживачів морепродуктів [3].

Мангрові екосистеми зазнають особливого навантаження від пластикового забруднення. Складна коренева система мангрів функціонує як природна пастка для плавучого сміття: припливи регулярно виносять нові порції відходів у лісовий масив, де вони накопичуються між коренями та у ґрунті [6]. Дослідження Pham et al. [6] у мангровому лісі Нячанга зафіксували середню щільність пластикових відходів 0,18 од./м² у ранкових зборах та 0,14 од./м² у денних, причому нові предмети з'являлись на тих самих ділянках після кожного припливу - що наочно демонструє безперервну динаміку надходження відходів із морського середовища. Накопичення пластику в мангровому ґрунті перешкоджає проростанню насіння та розвитку кореневої системи молодих дерев, знижуючи

відновлювальний потенціал екосистеми [6]. Крім того, мангрові зарості Нячанга піддаються додатковому тиску через туристичну та аквакультурну діяльність у безпосередній близькості [6].

Коралові рифи затоки Нячанг - один із найбагатших за біорізноманіттям морських регіонів В'єтнаму - також зазнають деградації внаслідок пластикового забруднення. За оцінками Kimura та ін. (наведено за [2]), рівень живого коралового покриву в затоці Нячанг скоротився до менш ніж 25%, причому серед чинників деградації фігурують підвищене осадонакопичення, надходження біогенних речовин та пластикові відходи на морському дні. Фізичне перекриття коралових поліпів пластиком пригнічує фотосинтез симбіотичних водоростей, створює анаеробні умови та сприяє поширенню патогенних мікроорганізмів, що колонізують поверхню пластикових уламків [1]. Аналогічні процеси задокументовано і для коралових рифів Південно-Східної Азії: дослідження Santodomingo et al. [12] для затоки Дарвел (Малайзія) показало, що пластикове сміття накопичується безпосередньо на рифових структурах, посилюючи стрес коралових поліпів через механічне пошкодження і затемнення.

Екологічні наслідки забруднення нерозривно пов'язані із соціально-економічними втратами. За оцінками UNEP (наведено за [6]), пластикові відходи завдають морським екосистемам збитків щонайменше на 13 млрд дол. США щороку. Для Нячанга, економіка якого значною мірою залежить від морського туризму та рибальства, деградація прибережних екосистем безпосередньо загрожуює доходам місцевих громад [2]. Таким чином, екологічні наслідки забруднення берегових зон є системною проблемою, що потребує комплексного підходу до моніторингу та управління - основи якого закладаються у методичній частині цієї роботи.

Висновки до розділу 1

1. Забруднення прибережних зон твердими побутовими відходами є глобальною екологічною проблемою, що набула особливої гостроти в регіоні Південно-Східної Азії: В'єтнам входить до четвірки країн світу за обсягами викидів пластику в океан (280–730 тис. т/рік), а затока Нячанг визначена

дослідниками як один із світових осередків пластикового забруднення з середньою щільністю відходів $19,8 \pm 19,5$ од./м², що на порядок перевищує середньосвітові показники [2–4].

2. Структура забруднення берегових зон Нячанга визначається поєднанням наземних (80%) та морських (20%) джерел, де провідну роль відіграють рибальство та аквакультура (домінування PS та LDPE за складом полімерів), побутові відходи і туристична інфраструктура; сезонні паводки на річці Кай є ключовим механізмом транспортування відходів з суходолу до морського середовища [2–5].

3. Прибережна зона Нячанга характеризується унікальним поєднанням антропогенних чинників - інтенсивного туристичного навантаження, масштабного рибальства та прискореної урбанізації - на тлі екологічно вразливих екосистем: мангрових заростей, що акумулюють пластик при кожному припливі, та коралових рифів із рівнем живого покриву менш ніж 25% [2, 6].

4. Попри значну кількість досліджень із загальної характеристики забруднення, в літературі бракує комплексного порівняльного аналізу берегових ділянок різного функціонального типу (туристичні, рибальські, мангрові, контрольні) в межах єдиної затоки з одночасною оцінкою типологічної структури відходів та їх екологічних наслідків - що й обґрунтовує актуальність та наукову новизну цієї роботи [2, 4, 5].

5. Встановлені теоретичні засади - класифікаційні схеми відходів за матеріалом і джерелом, методичні стандарти натурних обстежень, дані про екологічні наслідки для морської біоти - формують наукову основу для розробки методики польових досліджень (Розділ 2) та інтерпретації отриманих результатів (Розділ 3).

РОЗДІЛ 2. РАЙОН, МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1. Фізико-географічна характеристика м. Нячанг та затоки Нячанг

Місто Нячанг розташоване на південно-центральному узбережжі В'єтнаму, є адміністративним центром провінції Кханьхоа та виходить до затоки Нячанг - напівзамкненої акваторії площею близько 500 км², що сполучається з Південно-Китайським морем зі східного боку і охоплює кілька островів з розвиненими кораловими рифами [2]. З 2001 року затока має статус морського заповідника площею 160 км², заснованого для охорони найвищого за рівнем біорізноманіття морського регіону В'єтнаму [2].

Гідрологічний режим прибережної зони визначається двома основними річковими системами. Річка Кай з площею водозбору 1 900 км² протікає через центр міста і впадає безпосередньо в затоку Нячанг, формуючи найбільше джерело як прісноводного стоку, так і забруднення прибережних вод. Щорічне надходження завислих наносів із Кай становить близько 80,4 млн т [2]. На північ від міста в затоку Нха Фу впадає річка Так з площею водозбору 120 км² [2]. Обидві річки схильні до різких паводків: протягом року відбувається від двох до п'яти великих повеней тривалістю 2–3 дні кожна, зосереджених переважно в нижніх частинах міської забудови [2]. Саме паводки є ключовим механізмом транспортування пластикових відходів із суходолу до морського середовища - за оцінками Meijer та ін. (наведено за [2]), лише річка Кай щороку виносить до океану близько 137 т пластикових відходів.

Клімат Нячанга характеризується чітко вираженою сезонністю: сухий сезон триває з січня по серпень, дощовий - з вересня по грудень, середньорічна температура становить 27°C [2]. Припливний режим нерегулярний діурнальний з амплітудою 1–2,4 м; протягом місяця фіксується 18–20 діурнальних припливних діб [2]. Максимальна висота хвиль у затоці може перевищувати 5 м при середньому значенні 2,5 м [2]. Переважний напрямок течій - південний у період

жовтень–квітень та північний у травні–вересні [2], що визначає просторовий перерозподіл плавучих відходів між різними ділянками узбережжя.

Нячанг є одним із найбільш динамічно зростаючих прибережних міст В'єтнаму. Населення міста становить близько 500 тис. осіб [4], однак у туристичний сезон воно суттєво зростає. Площа міської забудови збільшилась на 168% у період з 1990 по 2020 рік, причому найінтенсивніше зростання припало на 2011–2020 рр. - понад 8% щороку [2]. Розширення міста супроводжувалось збільшенням площі непроникних поверхонь та недостатнім розвитком зливової каналізації, що посилює поверхневий змив забруднювачів до річкової системи під час опадів [2]. Таким чином, фізико-географічні умови Нячанга - поєднання інтенсивного паводкового режиму, нерегулярних припливів і швидкої урбанізації водозбору - формують середовище з підвищеним ризиком накопичення твердих побутових відходів у прибережній зоні.

2.2. Характеристика антропогенного навантаження на берегову зону (туризм, рибальство, урбанізація)

Туризм є провідною галуззю економіки Нячанга і водночас одним із головних чинників антропогенного навантаження на прибережну зону. Провінція Кханьхоа входить до туристичного ядра Південно-Центрального узбережжя В'єтнаму і характеризується дуже високим потенціалом прибережного туризму серед 28 прибережних провінцій країни [13]; щорічний потік відвідувачів Нячанга перевищує 7 млн осіб [2]. Попри такий масштаб, рівень обізнаності відвідувачів про природоохоронний статус затоки залишається вкрай низьким: лише 9,6% іноземних туристів знають про існування морського заповідника [14] - що свідчить про недостатню ефективність інформаційного та управлінського супроводу туристичних потоків і безпосередньо позначається на культурі поводження з відходами на пляжах. Центральний пляж Нячанга генерує значний потік одноразової упаковки, недопалків та пластикового посуду, прибирання яких носить нерегулярний характер і не встигає за інтенсивністю їх накопичення [2].

Рибальство та аквакультура формують другий ключовий вектор антропогенного навантаження. Нячанг є одним із головних портів офшорного рибальства Південно-Китайського моря [4], а місцеві громади на островах затоки економічно залежать від рибальства: 76% голів домогосподарств острівних спільнот зайняті у цій галузі [14]. Аквакультура в затоці Нха Фу, представлена переважно креветковими фермами, забезпечує близько 30% доходів домогосподарств регіону [4]. Попри економічне значення, рибальська та аквакультурна діяльність у затоці Нячанг характеризується як інтенсивна, але слабо регульована [4], що зумовлює неконтрольоване надходження специфічних відходів - рибальського спорядження, пінополістирольних буїв і термоконтейнерів - безпосередньо у берегову зону.

Урбанізація та стан системи поводження з відходами створюють третій вектор навантаження, що підсилює два попередніх. Рівень охоплення збором відходів у В'єтнамі становить близько 70% у містах та 40% у сільській місцевості [2], однак навіть ці показники не враховують сезонного дисбалансу, характерного для Нячанга. При постійному населенні близько 500 тис. осіб міська система збору відходів орієнтована на відповідне базове навантаження - тоді як щорічний потік понад 7 млн туристів [2] створює пікове навантаження, що в кілька разів перевищує проектну потужність інфраструктури. Аналогічна асиметрія між обсягами утворення відходів та інфраструктурою їх збору задокументована і у Хошіміні [15], що свідчить про системний характер проблеми у великих містах В'єтнаму. Цей дисбаланс у туристичний сезон неминуче призводить до накопичення незібраних відходів, які через зливу каналізацію та поверхневий змив потрапляють до річкової системи і далі до прибережної зони. У Нячанзі, як і в інших містах В'єтнаму, рівень переробки залишається низьким - близько 15% за національною статистикою [3], - що означає що переважна частина пластикових відходів або захоронюється на полігонах, або потрапляє в довкілля.

Таким чином, берегова зона Нячанга перебуває під одночасним тиском трьох різноспрямованих джерел забруднення, кожне з яких формує власний типологічний профіль відходів. Саме ця різноманітність обґрунтовує вибір

дослідних ділянок за принципом функціонального типу антропогенного навантаження, що детально описано в наступному підрозділі.

2.3. Вибір дослідних ділянок та обґрунтування їх репрезентативності

Вибір дослідних ділянок ґрунтується на типологічному підході, що передбачає охоплення прибережних зон з контрастним характером антропогенного навантаження. Різні функціональні типи берегових ділянок - туристичні пляжі, рибальські зони, річкові гирла, мангрові екосистеми та периферійні ділянки з мінімальним прямим тиском - формують характерні профілі забруднення за матеріальним складом і джерелом походження відходів. Цей підхід апробований у попередніх дослідженнях у Нячанзі: Fruegaard et al. [4] обстежили сім пляжів з різним рівнем рекреаційного та господарського навантаження, а Fulfer et al. [2] порівнювали чотири ділянки з контрастним ступенем урбанізації берегової лінії. Типологічний підхід дозволяє виявити зв'язок «тип навантаження → склад відходів» і тим самим підвищити інформативність кількісних даних, отриманих з обмеженої кількості замірів - оскільки типологічно різні точки дають більше інформації про структуру забруднення, ніж повторні обстеження однотипних ділянок.

Для дослідження обрано п'ять ділянок, що охоплюють північний сектор узбережжя - від лагуни Đầm Nha Phu на півночі до центральної частини міста.

Ділянка 1 - туристичний пляж (12,255024° пн.ш., 109,197139° сх.д.): розташована в північній частині набережної Tràn Phú - центральної рекреаційної зони Нячанга з найвищою концентрацією туристичної інфраструктури. Ділянка щоденно відвідується великою кількістю туристів і місцевих мешканців, що зумовлює домінування побутового пластику туристичного походження: харчової упаковки, одноразового посуду та недопалків. Регулярне, але нерівномірне прибирання пляжу [2] дозволяє оцінити «фоновий» рівень туристичного забруднення між прибираннями.

Ділянка 2 - рибальсько-аквакультурна зона (12,341112° пн.ш., 109,201683° сх.д.): знаходиться в районі Vĩnh Lương на вулиці Phạm Văn Đồng, де зосереджена рибальська діяльність та аквакультурна інфраструктура. Близькість до причалів і місць базування рибальського флоту визначає очікуване домінування відходів морського походження: пінополістирольних буїв та термоконтейнерів, рибальських мотузок, сіток та рибальського такелажу [4].

Ділянка 3 - зона гирла річки Кай (12,259814° пн.ш., 109,198069° сх.д.): розташована на піщаній відмілині біля мосту Trần Phú, в безпосередній близькості від місця впадіння річки в затоку. Враховуючи інтенсивний річковий стік пластикових відходів через р. Кай (підрозділ 2.1), ділянка біля гирла є ключовим індикатором надходження міського сміття до морського середовища. Географічна близькість цієї ділянки до місця проживання дослідника забезпечує методологічну перевагу у вигляді можливості проведення додаткових спостережень для часового ряду. Очікується різномірний склад відходів міського водозбору.

Ділянка 4 - умовно-контрольна ділянка (12,323556° пн.ш., 109,212831° сх.д.): знаходиться на північній периферії міської агломерації, де пряме антропогенне навантаження є відносно мінімальним порівняно з іншими обстежуваними точками. Слід підкреслити, що ця ділянка не є справжньою контрольною в строгому методологічному розумінні: досягнення природного фонового рівня потребувало б відстані понад 30 км від міста, що виходить за рамки цього дослідження. Ділянка використовується як відносна точка порівняння для оцінки мінімального рівня забруднення в межах агломерації.

Ділянка 5 - мангрова зона (12,388914° пн.ш., 109,193366° сх.д.): розташована в лагуні Đầm Nha Phu - найбільшій мангровій екосистемі в районі Нячанга. Мангрові зарості функціонують як природні пастки для плавучого сміття: при кожному припливі нові відходи накопичуються між коренями [6]. Очікується різномірний склад відходів із переважанням матеріалів, що надходять із морського середовища з припливними водами.

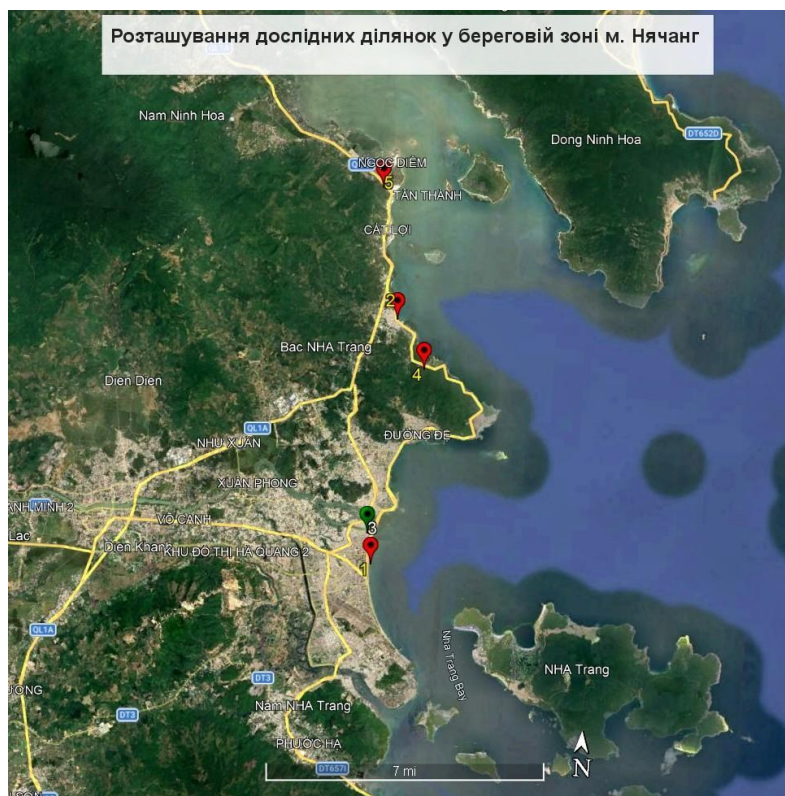


Рис. 2.1 - Розташування дослідних ділянок у береговій зоні м. Нячанг (підкладка - Google Earth Pro, дані супутникових знімків Maxar Technologies / Airbus): 1 - Trần Phú (центральный пляж); 2 - Vĩnh Lương (рибальсько-аквакультурна); 3 - гирло р. Кай; 4 - умовно-контрольна (північна периферія); 5 - Đầm Nha Phu (мангрова зона). Координати наведено в системі WGS-84.

Просторове розташування всіх п'яти ділянок наведено на рис. 2.1; повний перелік координат - у Таблиці А.1 (Додаток А). Координати наведено у системі WGS-84.

2.4. Методика натурних обстежень та обробки даних

2.4.1. Метод польових обстежень

Основним методом збору первинних даних є візуальне картування макросміття на берегових трансектах без вилучення предметів, що відповідає підходу разового обліку накопиченого сміття (standing stock approach) відповідно до рекомендацій NOAA [9], адаптованому для неінвазивного спостереження.

На кожній із п'яти дослідних ділянок закладалась одна трансекта завдовжки 50 м, орієнтована вздовж берегової лінії. Ширина трансекти

варіювалась у межах 10–25 м залежно від морфології ділянки і визначалась від урізу води до тилової межі берегової зони (підніжжя схилу, рослинності, укусу або антропогенної споруди). Точна ширина вимірювалась індивідуально на кожній ділянці, що дозволяло розраховувати індивідуальну площу трансекти та нормалізувати результати підрахунку на одиницю площі (од./м²). Мінімальний розмір фракції для реєстрації становив 2,5 см по найдовшій осі, що забезпечує сумісність із методикою Fruergaard et al. [4]. Кожен зафіксований предмет підраховувався, класифікувався за матеріалом і ймовірним джерелом походження та фотографувався, але не вилучався з ділянки.

У межах часового і ресурсного бюджету бакалаврського дослідження на кожній із п'яти ділянок проведено по одному натурному обстеженню. Така схема узгоджена з науковим керівником і компенсується двома факторами: по-перше, типологічним підходом до вибору ділянок (підрозділ 2.3), що забезпечує охоплення ключових функціональних типів прибережних зон у межах єдиної затоки; по-друге, цифровою фіксацією повного об'єму даних з можливістю ретроспективного аналізу через відеоматеріали і фотодокументацію.

2.4.2. Класифікація відходів та цифровий збір даних

Класифікація відходів проводилась за трьома критеріями. За матеріальним складом виділялись такі категорії: пластик (пляшки PET, пакети LDPE, пінополістирольні контейнери PS, мотузки та сітки PP, інший пластик), скло, метал, папір та картон, органіка, інше. За ймовірним джерелом походження відходи відносились до однієї з чотирьох категорій: побутове, туристичне, рибальсько-аквакультурне, будівельне. За розмірним класом відходи поділено на три категорії відповідно до підходу NOAA [9]: S (від 2,5 до 10 см), M (від 10 до 50 см), L (понад 50 см); розмір визначався за найдовшою віссю предмета. Полімерна ідентифікація пластикових предметів проводилась візуально за типом предмета з подальшим визначенням ймовірного полімерного складу за літературними аналогами [4, 5], оскільки лабораторний FTIR-аналіз виходить за межі методичних можливостей цього дослідження.

Збір польових даних здійснювався за допомогою спеціально розробленого мобільного застосунку (React + Firebase Firestore), створеного автором для цілей дослідження. Застосунок забезпечує автоматичну фіксацію GPS-координат, прив'язку фотоматеріалів до конкретної ділянки та трансекти, структуроване введення даних за категоріями (тип матеріалу, джерело походження, кількість одиниць), а також синхронізацію записів у хмарне сховище. Такий підхід мінімізує ризик втрати даних, виключає помилки при перенесенні польових записів та забезпечує єдиний формат для всіх обстежень. Технічна документація застосунку наведена у Додатку В.

Відеозапис кожної трансекти використовується як додатковий метод верифікації підрахунків та ретроспективного перегляду при повторному аналізі даних.

2.4.3. Гідрохімічні вимірювання

Вимірювання рН прибережних вод заплановано було на всіх п'яти дослідних ділянках. Фактично рН-метрія виконана на трьох ділянках з різним ступенем повноти: на ділянках №2 (Vĩnh Lương) та №4 (умовно-контрольна) виконано повний вертикальний профіль із трьох точок (уріз води, 50 см, 1 м); на ділянці №5 (Đầm Nha Phu) - лише поверхневий замір на урізі води, оскільки висока каламутність та мулистий характер ложа лагуни унеможливили занурення приладу на більшу глибину. На ділянках №1 (Trần Phú) та №3 (гирло р. Кай) вимірювання не проведено внаслідок технічної несправності портативного рН-метра під час обстеження ділянки №3. Повторне обстеження з замінним приладом не виконувалось у межах часового бюджету польового етапу. Це обмеження враховано при інтерпретації результатів у Розділі 3: показники рН використано як допоміжний індикатор стану прибережних вод на ділянках, де вимірювання було можливим, без екстраполяції на необстежені точки.

2.4.4. Обробка даних і обмеження методу

Кількісні результати обстежень виражались у вигляді щільності відходів на одиницю площі (од./м²), розрахованої як відношення загальної кількості зафіксованих предметів до площі трансекти. Структура забруднення аналізувалась у відсотковому вираженні за матеріальним складом і джерелом походження для кожної ділянки окремо. Порівняльний аналіз між ділянками різного функціонального типу проводився для виявлення зв'язку між характером антропогенного навантаження і типологічним профілем відходів. Отримані дані зіставлялись із результатами попередніх досліджень у регіоні [2, 4, 5].

Методологічна прозорість вимагає чіткого окреслення обмежень застосованого підходу. По-перше, відсутність лабораторного FTIR-аналізу унеможливорює точну ідентифікацію полімерного складу пластикових відходів - полімерна класифікація базується на літературних аналогах і несе певну похибку. По-друге, відмова від вилучення і зважування предметів обмежує аналіз кількісними і відсотковими показниками без масових характеристик. По-третє, одноразовий характер обстежень фіксує стан ділянок на конкретний момент часу і не дозволяє розраховувати статистичні показники мінливості - дослідження має попередній характер і є основою для подальшого довгострокового моніторингу. По-четверте, візуальний підрахунок пов'язаний із ризиком пропуску дрібних предметів, прихованих під шаром піску або серед рослинності. Перелічені обмеження враховуються при інтерпретації результатів у Розділі 3.

Висновки до розділу 2

1. Берегова зона міста Нячанг розташована в межах напівзамкненої затоки площею ~500 км² з нерегулярним діурнальним припливним режимом, інтенсивним паводковим стоком через річку Кай та активним процесом урбанізації водозбору - сукупність цих фізико-географічних факторів створює умови для постійного надходження та накопичення твердих побутових відходів у прибережній зоні [2, 4].

2. Антропогенне навантаження на берегову зону Нячанга формується трьома взаємопов'язаними векторами - масовим туризмом (понад 7 млн відвідувачів на рік), інтенсивним рибальством та аквакультурою в умовах

слабкого регулювання, і міською агломерацією з системою збору відходів, не розрахованою на пікове сезонне навантаження, - що визначає різноманітність джерел і складу твердих побутових відходів на різних типах берегових ділянок [2, 3, 4, 13, 14].

3. Для дослідження обрано п'ять ділянок за типологічним принципом, що охоплюють ключові функціональні типи прибережних зон затоки: туристичний пляж, рибальсько-аквакультурну зону, гирло річки Кай, умовно-контрольну периферійну ділянку та мангрову екосистему лагуни Đầm Nha Phu - типологічний підхід підвищує інформативність даних, отриманих з обмеженої кількості замірів, виявляючи зв'язок між характером навантаження і профілем забруднення.

4. Польові обстеження проводились методом візуального картування макросміття на трансектах 50 м × 10–25 м (фракція >2,5 см) без вилучення предметів за підходом разового обліку накопиченого сміття (standing stock approach) NOAA [9], з реєстрацією у спеціально розробленому мобільному застосунку (React + Firebase); допоміжним методом слугувала рН-метрія прибережних вод портативним приладом з попередньою калібруванням буферними розчинами рН 4,0 і рН 7,0.

5. Методологічні обмеження дослідження - одноразовість замірів, відсутність FTIR-аналізу та зважування - прозоро окреслені і компенсуються типологічним підходом до вибору ділянок та цифровою документацією повного об'єму польових даних; отримані результати мають попередній характер і слугують основою для інтерпретації у Розділі 3. Вимірювання рН прибережних вод проведено з різним ступенем повноти: повний вертикальний профіль (3 точки) - на ділянках №2 і №4; поверхневий замір - на ділянці №5; на ділянках №1 і №3 вимірювання не виконано - це обмеження враховується при формулюванні висновків про якість прибережних вод.

РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ОЦІНКИ ЗАБРУДНЕННЯ БЕРЕГОВОЇ ЗОНИ . НЯЧАНГ ТА ЙОГО ЕКОЛОГІЧНІ НАСЛІДКИ

3.1. Кількісна оцінка забруднення дослідних ділянок

Польовий етап дослідження охопив п'ять типологічно контрастних ділянок берегової зони Нячанга у квітні–травні 2026 р. На загальній площі трансект 3 850 м² зафіксовано 2 122 одиниці макросміття, що відповідає середній щільності 0,551 од./м². Обліку підлягали усі предмети розміром понад 2,5 см по найдовшій осі відповідно до підходу разового обліку накопиченого сміття (standing stock approach) NOAA [9], застосованого у методиці польових обстежень (підрозділ 2.4). Отримані показники відображають миттєвий стан забруднення на момент обстеження та слугують вихідним базовим рівнем для подальшого моніторингу.

Таблиця 3.1

Кількісні показники забруднення дослідних ділянок

Ділянка	Дата	Площа, м ²	Усього од.	Конц., од./м ²	pH (профіль)
Trần Phú (центральный пляж)	05.05.2026	500	122	0,244	-
Vĩnh Lương (рибальська)	30.04.2026	1 750	740	0,423	8,31 / 8,28 / 8,34
Гирло р. Кай	04.05.2026	250	156	0,624	-
Умовно-контрольна (північна)	29.04.2026	850	899	1,058	8,12 / 8,36 / 8,40
Đầm Nha Phu (мангри)	30.04.2026	500	205	0,410	8,88 (поверхн.)
Сумарно / середнє		3 850	2 122	0,551	-

Розподіл відходів між ділянками виявився суттєво нерівномірним. Зведені кількісні показники по всіх п'яти точках наведено у Таблиці 3.1. Концентрація варіює у 4,3 раза - від мінімального значення 0,244 од./м² на Ділянці 1 (центральный пляж Trần Phú, 122 одиниці на 500 м²) до максимального 1,058 од./м² на Ділянці 4 (умовно-контрольна, 899 одиниць на 850 м²). Проміжні значення розподілились таким чином: Ділянка 3 (гирло р. Кай) - 0,624 од./м² (156 одиниць / 250 м²), Ділянка 2 (рибальсько-аквакультурна зона Vĩnh Lương) - 0,423

од./м² (740 одиниць / 1 750 м²), Ділянка 5 (мангровий масив Đầm Nha Phu) - 0,410 од./м² (205 одиниць / 500 м²).

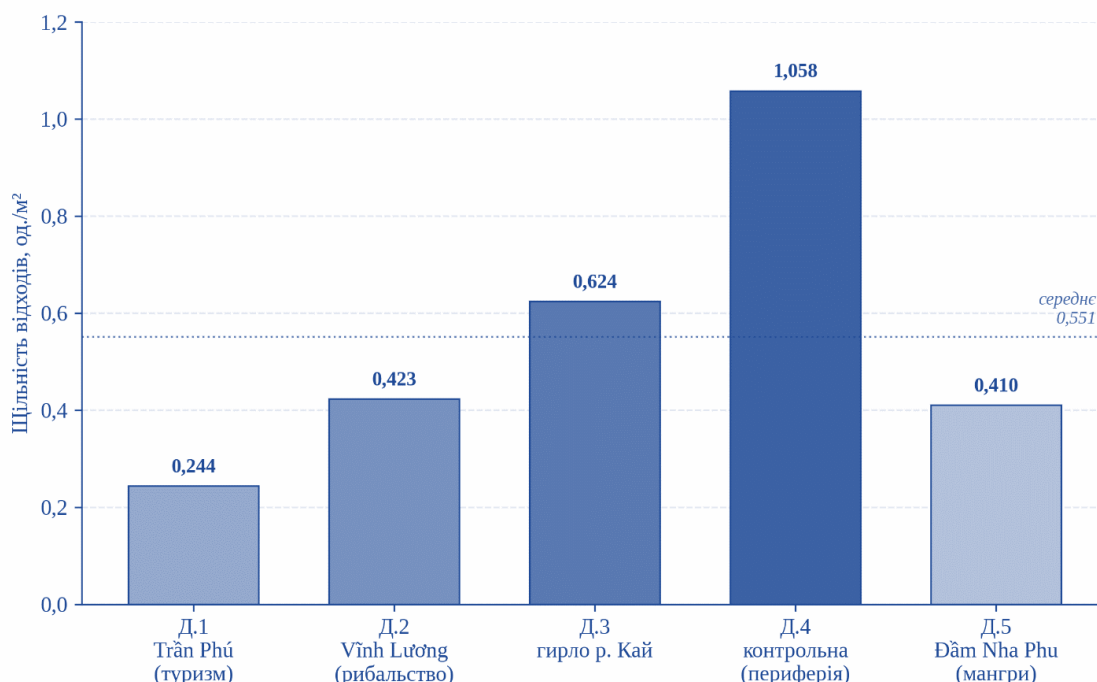


Рис. 3.1 - Щільність макросміття на дослідних ділянках берегової зони Нячанга (од./м²); пунктирною лінією позначено середнє значення по всіх ділянках (0,551 од./м²).

Графічне зіставлення щільностей по ділянках наведено на рис. 3.1; візуально найбільш виразним є контраст між мінімальним значенням на туристичному пляжі (Ділянка 1) і максимальним на умовно-контрольній периферії (Ділянка 4).

Найвища концентрація на Ділянці 4 потребує окремого коментаря. На перший погляд результат здається суперечливим: ділянка з відносно мінімальним прямим антропогенним навантаженням у межах обстеженого узбережжя демонструє рекордну щільність відходів. Проте це узгоджується з гідродинамічними особливостями затоки Нячанг - у жовтні–квітні переважні прибережні течії мають південний напрямок [2], що сприяє транспортуванню плавучого сміття з центральної частини міста у бік північної периферії. Додатковим чинником є відсутність на цій ділянці регулярних прибирань,

характерних, наприклад, для центрального пляжу. Детальна інтерпретація цього явища та його наслідки для концепції «контрольної ділянки» розглядаються у підрозділі 3.3.

Вимірювання рН прибережних вод вдалось провести на трьох із п'яти ділянок. На Ділянці 2 отримано повний тризначний профіль: 8,31 (кромка води), 8,28 (0,5 м глибини), 8,34 (1 м глибини); на Ділянці 4 - відповідно 8,12, 8,36 та 8,40. Обидва профілі знаходяться у межах типового діапазону для прибережних морських вод тропічних регіонів (~8,0–8,3) [16]. На Ділянці 5 виконано лише поверхневий замір - 8,88; подальші вимірювання вертикального профілю виявились неможливими через високу каламутність вод і мулистий характер ложа лагуни Đầm Nha Phu, що унеможливили занурення приладу на більшу глибину. Це значення перевищує верхню межу типового морського діапазону приблизно на 0,5–0,6 одиниці рН і може свідчити про локальні геохімічні або біологічні процеси в акваторії лагуни; його екологічна інтерпретація наводиться у підрозділі 3.4. На Ділянках 1 і 3 вимірювання рН не проводились через технічну несправність приладу, що виникла під час обстеження Ділянки 3 (04.05.2026); повторне обстеження із замінним приладом не виконувалось у межах часового бюджету польового етапу (підрозділ 2.4.3).

Встановлена кількісна картина забруднення - суттєвий міжділянковий розкид щільностей і початкова характеристика гідрохімічних умов - є відправною точкою для аналізу типологічної структури відходів, якому присвячено наступний підрозділ.

Повна структура зафіксованих відходів за матеріалом, джерелом і розміром на кожній з п'яти ділянок наведена у Додатку Б.

3.2. Типологічна структура відходів за матеріалом та джерелом походження

Аналіз матеріального складу зафіксованих відходів підтверджує абсолютне домінування полімерних матеріалів: пластик становить 65,7% від

загальної кількості облікованих одиниць, пінополістирол - ще 12,8%, разом - 78,5% усіх задокументованих предметів. Решта матеріальних категорій суттєво поступається: цегла та будівельні матеріали - 5,2%, інше - 8,0%, органіка - 4,0%, папір і картон - 1,8%, тканина - 1,4%, резина - 0,7%, скло - 0,3%, метал - 0,1%. Така картина узгоджується з регіональними даними: домінування пластику задокументоване для пляжів Нячанга - 79% за вагою [4], для узбережжя Кханьхоа в цілому - 79% за кількістю [5] та для країн Південно-Східної Азії загалом - понад 90% за результатами берегових прибирань 2012–2022 рр. [8]. Наш показник 78,5% за кількістю одиниць вписується у нижню межу цього регіонального діапазону; відхилення від ряду літературних значень пояснюється локальними особливостями складу, детально розглянутими нижче.

Таблиця 3.2

Структура відходів за матеріалом (% від кількості одиниць)

Матеріал	Д.1	Д.2	Д.3	Д.4	Д.5	Сумарно
Пластик	33,6	61,2	59,0	81,6	36,6	65,7
Пінополістирол	32,8	27,7	16,7	-	0,5	12,8
Цегла	-	-	0,6	-	53,2	5,2
Інше	2,5	3,9	5,1	13,3	4,4	8,0
Органіка	11,5	2,7	1,9	4,7	2,9	4,0
Папір	17,2	-	9,6	0,1	0,5	1,8
Тканина	1,6	2,6	5,8	-	-	1,4
Резина	0,8	1,6	0,6	-	-	0,7
Скло	-	-	0,6	0,1	2,0	0,3
Метал	-	0,3	-	0,1	-	0,1
Усього	100	100	100	100	100	100

Аналіз за джерелом походження виявив очевидне домінування побутового сміття - 73,4% від загальної кількості одиниць. Будівельне походження зафіксовано у 8,9% предметів, однак ця частка різко нерівномірна просторово: близько 64% усіх будівельних відходів зосереджено на одній ділянці - мангровому масиві Đầm Nha Phu, тоді як на решті чотирьох ділянок цей показник коливається від 0,8% до 5,1%. Рибальсько-аквакультурне походження ідентифіковано у 6,4% одиниць, туристичне - у 5,5%, невизначене - у 5,9%. Показник рибальського компонента (6,4% за кількістю одиниць) суттєво нижчий за дані Fruergaard et al. [4] для цього ж регіону; утім пряме зіставлення

некоректне, оскільки [4] наводить частки за масою, а наше дослідження - за кількістю: крупні рибальські предмети (сітки, буї, мотузки) важать непропорційно більше за свою кількість. Детальний порівняльний аналіз цієї розбіжності - у підрозділі 3.5.

Узагальнений розподіл відходів за матеріалом наведено на рис. 3.2; деталізована структура по матеріалу і джерелу для кожної ділянки - у Таблицях 3.2 і 3.3.

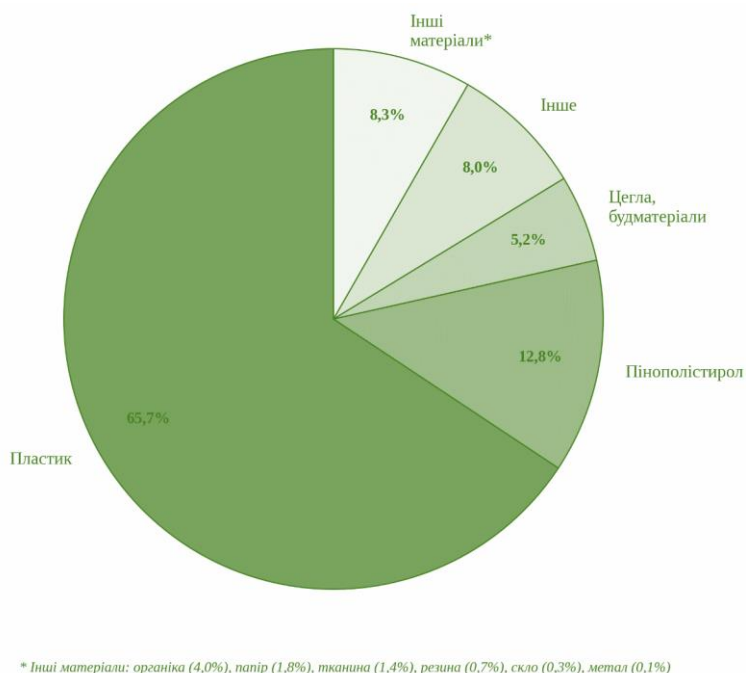


Рис. 3.2 - Розподіл макросміття за матеріальним складом (% від загальної кількості одиниць, $n = 2\,122$).

За зовнішньою однорідністю загальних відсотків приховуються чотири структурні аномалії, кожна з яких розкриває специфічний механізм формування забруднення на конкретній ділянці.

Найбільш разюча аномалія - Ділянка 5 (мангровий масив Đầm Nha Phu). На неї припадає 53,2% цегли та будівельних матеріалів від загальної кількості предметів, а частка будівельного походження сягає 63,9% - цифри, що не мають аналогів ні на решті обстежених ділянок, ні в літературних описах мангрових екосистем як пасток для плавучого пластику [6]. Це може свідчити не про пасивне накопичення морського дрейфу, а про локальне скидання будівельних відходів з

прилеглої сухопутної території - припущення, що узгоджується з польовими спостереженнями: відходи утворюють компактні куп'ї, витягнуті вздовж урізу води. Розгорнута інтерпретація цієї знахідки наведена у підрозділі 3.3.

Таблиця 3.3

Структура відходів за джерелом походження (% від кількості одиниць)

Джерело	Д.1	Д.2	Д.3	Д.4	Д.5	Сумарно
Побутове	66,4	89,1	85,3	68,9	31,2	73,4
Будівельне	0,8	2,3	5,1	3,4	63,9	8,9
Рибальське	-	1,5	1,3	13,5	0,5	6,4
Туристичне	20,5	1,6	0,6	8,2	2,0	5,5
Невідоме	12,3	5,5	7,7	6,0	2,4	5,9
Усього	100	100	100	100	100	100

Не менш показова Ділянка 2 (Vĩnh Lương, рибальсько-аквакультурна зона). Попри чіткий рибальський профіль господарської діяльності в районі, відходи на ділянці є побутовими на 89,1%, а полімерна складова сягає 88,9%. Рибальсько-аквакультурне походження ідентифіковано лише у 1,5% предметів - найнижчий показник серед усіх п'яти ділянок. Пояснення полягає у морфології берегової смуги: рибальська інфраструктура (причали, сітки) зосереджена безпосередньо біля води, тоді як обстежена трансекта проходила вздовж ділянки, що межує переважно з житловою забудовою. Детальна інтерпретація - у підрозділі 3.3.

На Ділянці 4 (умовно-контрольна, північна периферія) фіксується парадоксально висока частка рибальського компонента - 13,5%, найвища серед усіх п'яти точок, хоча сама ділянка не є рибальською зоною. Показник формується переважно за рахунок крупних предметів рибальського спорядження класу L та M (сітки, мотузки, пастки), що осідають на периферійній ділянці разом з іншим морським дрейфом через гідродинаміку затоки. Паралельно тут зафіксовано максимальний відсоток пластику (81,6%) і повну відсутність пінополістиролу.

Ділянка 1 (центральный пляж Tràn Phú) є єдиною, де структура відходів логічно відповідає функціональному призначенню: туристичне походження становить 20,5% - найвищий показник серед усіх ділянок. Характерна риса - нетипово висока частка дрібної фракції S (63,1%), що відображає переважання одноразової упаковки, паперу та дрібних пластикових предметів туристичного вжитку. Ця ділянка слугує своєрідним еталоном очікуваного профілю забруднення в умовах туристичного навантаження і стане орієнтиром для порівняльного аналізу у підрозділі 3.3.

Розподіл зафіксованих відходів за розмірним класом наведено у Таблиці 3.4.

Таблиця 3.4

Розподіл відходів за розмірним класом (% від кількості одиниць)

Розмір	Д.1	Д.2	Д.3	Д.4	Д.5	Сумарно
S (2,5–10 см)	63,1	9,1	30,8	20,2	7,3	17,8
M (10–50 см)	34,4	83,1	66,0	73,4	75,1	74,9
L (>50 см)	2,5	7,8	3,2	6,3	17,6	8,3
Усього	100	100	100	100	100	100

У розмірному розподілі домінує клас M - 74,9% сумарно по всіх ділянках, що типово для берегового макросміття середніх розмірів. Виразним винятком є Ділянка 1 з часткою S у 63,1% - дрібна фракція тут уп'ятеро перевищує середнє значення по масиву даних, що безпосередньо пов'язане з туристичним характером відходів: обгортки, пакети, недопалки, одноразовий посуд. На протилежному полюсі - Ділянка 5 з найвищою часткою L (17,6%), сформованою крупними фрагментами цегли і будівельних матеріалів.

Встановлена типологічна структура відходів - з чотирма виразними аномаліями і нелінійним зв'язком між функціональним призначенням ділянки та профілем забруднення - потребує причинно-наслідкового пояснення, яке є предметом порівняльного аналізу у наступному підрозділі.

3.3. Порівняльний аналіз рівня забруднення ділянок різного функціонального типу

Встановлена у підрозділах 3.1 і 3.2 кількісна і типологічна картина забруднення потребує причинно-наслідкової інтерпретації. Метою цього підрозділу є з'ясування того, якою мірою функціональний тип ділянки - туристичний, рибальський, гирловий, мангровий, периферійний - визначає спостережуваний профіль забруднення, а також виявлення чинників берегової динаміки, що діють незалежно від прямого антропогенного навантаження. Як показує порівняльний аналіз, зв'язок «тип навантаження → склад і концентрація відходів» є реальним, але нелінійним: поряд із прямим функціональним впливом ключову роль відіграють гідродинамічний перерозподіл, характер берегової морфології та наявність або відсутність прибирань.

Найбільш разючим відступом від очікуваної картини є результат Ділянки 4 - умовно-контрольної ділянки на північній периферії міста. За логікою типологічного підходу, мінімальне пряме антропогенне навантаження мало б відповідати мінімальній концентрації відходів. Натомість зафіксовано протилежне: 1,058 од./м² - найвище значення серед усіх п'яти точок. Пояснення лежить у поєднанні трьох незалежних чинників. По-перше, ділянка не охоплена маршрутами регулярного муніципального прибирання, що характерне для центральних рекреаційних зон, - відходи накопичуються без регулярного вилучення. По-друге, у жовтні-квітні переважний напрямок прибережних течій у затоці Нячанг - південний [2], що забезпечує транспортування плавучого сміття з центральної частини міста у бік північної периферії. По-третє, морфологія ділянки - відносно широка прибережна тераса - сприяє осіданню і затриманню матеріалу, викинутого хвилями. Сукупність цих чинників формує методологічний висновок принципової ваги: в умовах напівзамкненої затоки низька інтенсивність прямого антропогенного використання не є еквівалентом низької концентрації відходів. Це обмежує застосовність класичного поняття «контрольна ділянка» у

прибережних дослідженнях і має бути враховане при плануванні майбутніх моніторингових програм.

Протилежна за знаком, але логічно споріднена ситуація - на Ділянці 1 (центральный пляж Trần Phú). Мінімальна концентрація 0,244 од./м² не відображає низького надходження відходів у зону з понад 7 млн відвідувачів на рік [2] - вона є прямим наслідком регулярного прибирання пляжу як невід'ємного елементу туристичного сервісу. Спостережена щільність, таким чином, фіксує не швидкість утворення відходів, а швидкість їх накопичення між послідовними прибираннями. Це принципове розмежування важливе для інтерпретації: Ділянка 1 є не «чистою» у екологічному сенсі, а керованою - і саме тому слугує прикладом того, що управлінське втручання здатне радикально знижувати спостережувану концентрацію навіть за максимального антропогенного навантаження.

Рибальсько-аквакультурна Ділянка 2 (Vĩnh Lương) демонструє інший тип невідповідності між функцією і профілем забруднення. Рибальська діяльність у цьому районі задокументована [4], проте відходи на ділянці є побутовими на 89,1%, а рибальсько-аквакультурний компонент становить лише 1,5%. Пояснення криється у просторовій структурі берегової смуги: рибальська інфраструктура - причали, місця зберігання снастей - зосереджена безпосередньо біля урізу води, тоді як обстежена трансекта проходила вздовж ділянки, що морфологічно прилягає переважно до житлової забудови. Окремої уваги заслуговує пінополістирол (27,7% від загальної кількості одиниць): у літературі цей матеріал традиційно пов'язують з рибальсько-аквакультурною діяльністю - термоконтейнерами і буями [4]. У нашій класифікації він віднесений до побутової категорії за морфологічним контекстом: на ділянці фіксувались фрагменти пакувального пінополістиролу побутового типу, а не цілі рибальські буї чи контейнери. Це методичне рішення може бути предметом дискусії: за альтернативної класифікації частка рибальсько-аквакультурного компонента на Ділянці 2 суттєво зросла б і наблизилась би до профілю, очікуваного для цього типу зон.

Ділянка 3 (гирло р. Кай) демонструє профіль, найбільш передбачуваний з теоретичної точки зору. Висока концентрація - 0,624 од./м² на невеликій площі 250 м² - у поєднанні з домінуванням побутового пластику (85,3%) прямо підтверджує роль річки Кай як головного транзитного шляху міського сміття до затоки, детально обґрунтовану у підрозділі 2.1 на матеріалах [2]. Гирлова ділянка функціонує як точка концентрації потоку відходів із водозбору площею 1 900 км², і саме тут найбільш наочно реалізується паводковий механізм транспортування: різномірні побутові предмети, змиті з міської забудови під час опадів, осідають у прибережній смузі безпосередньо після виходу річки в затоку.

Найбільш дискусійним результатом дослідження залишається профіль Ділянки 5 (мангровий масив Đầm Nha Phu). Домінування цегли і будівельних матеріалів (53,2% за матеріалом, 63,9% за джерелом) принципово відрізняється від літературного образу мангрових екосистем як пасток для плавучого пластику морського походження [6]. Цегла є важким, непливучим матеріалом - її присутність у мангровому масиві не може бути пояснена гідродинамічним переносом з відкритої акваторії. Польові спостереження зафіксували характерну просторову структуру: відходи утворюють компактні куп'ї, витягнуті вздовж урізу води паралельно прилеглий дорозі. На підставі цих ознак висувається гіпотеза про локальне скидання будівельних відходів з прилеглої сухопутної території. Ця гіпотеза обґрунтована сукупністю непрямих свідчень - важкою природою матеріалу і просторовою структурою куп'їв - однак її верифікація потребує окремого дослідження із залученням місцевої адміністрації і виходить за межі завдань цієї роботи.

Узагальнюючи причинно-наслідкові пояснення по всіх п'яти ділянках, можна стверджувати, що концентрація і склад відходів у прибережній зоні визначаються щонайменше чотирма незалежними чинниками: (1) інтенсивністю та характером прямого антропогенного навантаження (тип господарської діяльності, рекреація, будівництво); (2) наявністю або відсутністю активного управління береговою зоною (регулярні прибирання, контроль скидань); (3) гідродинамічним перерозподілом відходів через прибережні течії, паводки та

припливну динаміку; (4) морфологією берегової смуги і характером прилеглої забудови, що визначають просторову локалізацію накопичення.



Рис. 3.3 - Скупчення будівельних відходів (цегла, бетонні фрагменти) уздовж берегової лінії мангрового масиву Đầm Nha Phu (Ділянка 5); просторова структура - компактні куп'ї паралельно прилеглій ґрунтовій дорозі - обґрунтовує гіпотезу про неформальне сухопутне скидання як основне джерело забруднення.

Жоден із цих чинників не діє ізольовано: саме їхня взаємодія формує унікальний профіль кожної ділянки - і саме це робить типологічний підхід до вибору дослідних точок інформативним навіть за обмеженої кількості замірів.. Візуальна документація обстежень з фотофіксацією усіх виявлених об'єктів сміття наведена у Додатку Г.

3.4. Екологічні наслідки забруднення дослідних ділянок

Отримані польові дані дозволяють оцінити екологічні наслідки виявленого забруднення на двох рівнях: безпосередньому - через гідрохімічні показники прибережних вод - і опосередкованому - через ризики для компонентів прибережної екосистеми, що впливають із складу і характеру розподілу відходів. Слід підкреслити, що більшість наведених нижче наслідків має характер обґрунтованих гіпотез і оцінок ризику, а не прямих вимірювань: спеціалізований екотоксикологічний аналіз виходить за межі методичних можливостей цього дослідження.

Вимірювання рН прибережних вод на Ділянках 2 і 4 дало повні тризначні профілі: значення коливаються у межах 8,12–8,40, що відповідає типовому діапазону для поверхневих прибережних морських вод ($\sim 8,0$ – $8,3$) [16]. Це свідчить про відсутність значного підкислення на обох ділянках у момент обстеження. Принципово інший результат отримано на Ділянці 5 (лагуна Đăm Nha Phu): поверхневий замір зафіксував значення 8,88, що перевищує верхню межу типового морського діапазону приблизно на 0,5–0,6 одиниці рН. Підвищене значення рН може свідчити про інтенсивну фотосинтетичну активність фітопланктону в умовах евтрофікації лагуни - процес, при якому поглинання CO_2 під час фотосинтезу зміщує карбонатну рівновагу води у бік вищих значень рН. Сама ж евтрофікація у напівзамкнених акваторіях типу Đăm Nha Phu зумовлюється надходженням азоту і фосфору з річкового стоку та сповільненим водообміном.

Виявлене на Ділянці 5 домінування будівельних відходів (53,2% цегли, 63,9% будівельного походження) становить специфічний тип навантаження на мангрову екосистему, що відрізняється від описаного у літературі. Дослідження Pham et al. [6] для мангрів Нячанга характеризують пластикову акумуляцію від припливів як основний механізм деградації: плавучі відходи накопичуються між пневматофорами, перешкоджаючи газообміну і проростанню насіння. Будівельні матеріали, зафіксовані на Ділянці 5, формують потенційно більш руйнівний

вплив: на відміну від пластикових відходів, що є переважно поверхневими і рухомими під дією припливів, важкі фрагменти цегли і бетону фізично закріплюються в субстраті і можуть формувати локальні зміни мікрорельєфу і гідрології мангрового масиву. Механічне блокування пневматофор і ущільнення ґрунту під вагою будівельного матеріалу здатні пригнічувати регенерацію заростей на уражених ділянках. Це не лише новий, але і потенційно більш стійкий тип антропогенного впливу на мангрову екосистему порівняно з описаним у [6] - хоча верифікація довгострокових наслідків потребує спеціалізованого ботанічного обстеження.

Склад і розмірна структура відходів на досліджених ділянках формують прямі ризики для морської біоти через заплутування і заковтування. Крупні предмети рибальського спорядження класу L - сітки, мотузки, пастки, зафіксовані насамперед на Ділянці 4 (13,5% рибальсько-аквакультурного компонента) - становлять ризик заплутування для морських черепах, ссавців і крупних риб [1]. Дрібна фракція S, що домінує на Ділянці 1 (63,1% від усіх одиниць), представлена переважно фрагментами пластикової упаковки, паперу і дрібних побутових предметів: саме ця розмірна категорія є основним об'єктом заковтування донними рибами і морськими птахами [1]. Таким чином, кожна з двох полярних за концентрацією ділянок - мінімальна Ділянка 1 і максимальна Ділянка 4 - генерує специфічний, але реальний ризик для різних трофічних груп прибережної біоти.

Окремим екологічним ризиком є потенційне надходження мікропластику у харчовий ланцюг через фрагментацію макровідходів. Під дією ультрафіолетового випромінювання і механічного стирання пластикові предмети поступово розпадаються на дрібніші частинки, що акумулюються у тканинах двостулкових молюсків, риб і ракоподібних [3, 17]. Аквакультурні ферми затоки Нха Фу [4] просторово збігаються з обстеженою Ділянкою 5 - це робить мангрову екосистему лагуни не тільки реципієнтом будівельних відходів, але і потенційним каналом надходження мікропластику у харчовий ланцюг через місцеву аквакультурну продукцію. Сусідня Ділянка 2 (Vĩnh Lương), хоча і не входить безпосередньо в зону аквакультури, демонструє високу концентрацію полімерних відходів

(88,9%), що в перспективі може сприяти фрагментації і морському переносу мікропластику до прилеглих акваторій. Слід підкреслити: прямих вимірювань мікропластику у рамках цього дослідження не проводилось - наведені оцінки ґрунтуються на екстраполяції регіональних даних [3, 17] і є обґрунтованими припущеннями, а не задокументованими фактами.

Забруднення берегової зони Нячанга несе і суттєві соціально-економічні наслідки, що виходять за межі суто екологічної проблематики. Забруднені ділянки узбережжя поза центральним пляжем підривають туристичну привабливість регіону - особливо з урахуванням того, що лише 9,6% іноземних туристів обізнані про природоохоронний статус затоки [14], а отже, не формують свідомого попиту на його дотримання. Не менш вагомими є ризики для рибальства і аквакультури: накопичення відходів у рибальській зоні (Ділянка 2) погіршує умови лову і засмічує знаряддя праці [4], тоді як забруднення мангрової лагуни Đầm Nha Phu (Ділянка 5) безпосередньо загрожує галузі, що забезпечує близько 30% доходів домогосподарств регіону [4]. Таким чином, екологічні наслідки виявленого забруднення реалізуються не лише через природні, але й через економічні механізми - що посилює обґрунтованість рекомендацій, розроблених у наступному підрозділі.

3.5. Порівняння одержаних результатів із даними аналогічних досліджень

Зіставлення наших даних з регіональними дослідженнями вимагає особливої уваги до методологічних відмінностей: пряме порівняння цифр без врахування різниці в методиках може бути оманливим. Це твердження підтверджується вже на першому ж зіставленні. Середня щільність відходів у нашому дослідженні - $0,551 \text{ од./м}^2$ - на перший погляд різниться від показника Fruergaard et al. [4] для пляжів Нячанга: $19,8 \pm 19,5 \text{ од./м}^2$. Однак ця різниця є закономірним наслідком трьох методологічних розбіжностей, а не реальним протиріччям між результатами. По-перше, Fruergaard et al. [4] включали до обліку мезофракцію (предмети менше 2,5 см), тоді як наше дослідження

обмежене макросміттям із мінімальним розміром 2,5 см відповідно до стандарту NOAA [9] - а саме мезофракція становить переважну частину загальної кількості одиниць на інтенсивно відвідуваних пляжах. По-друге, [4] базується на повторних обстеженнях тих самих трансект упродовж тривалого часу, тоді як наш зріз є разовим і фіксує стан на конкретний момент. По-третє, вибірка [4] охоплює виключно рекреаційні пляжі, тоді як наш масив включає п'ять функціонально різnorідних типів ділянок - частина з яких (мангри, гирло річки) не є пляжами у традиційному розумінні і мають принципово інший характер накопичення відходів. З урахуванням цих відмінностей наші результати не суперечать [4], а відображають більш консервативну оцінку, методологічно несумісну з прямим числовим зіставленням.

Аналогічна методологічна обережність необхідна при зіставленні структурних показників. Fruergaard et al. [4] фіксують 62% рибальсько-аквакультурного компонента за масою для пляжів Нячанга; наш показник рибальсько-аквакультурного походження становить лише 6,4% за кількістю одиниць. Ці цифри вимірюють принципово різні характеристики: крупні рибальські предмети - сітки, мотузки, буї - мають значну масу при відносно невеликій кількості одиниць, тоді як численні дрібні побутові предмети домінують за кількістю, але незначні за масою. Жодна з метрик не є більш «правильною» - вони відображають різні аспекти проблеми забруднення і повинні інтерпретуватися у власному методологічному контексті. Спроба прямого числового зіставлення між показниками за масою та за кількістю без цього застереження призвела б до хибного висновку про фундаментальну розбіжність з літературою там, де її насправді немає.

Більш коректне зіставлення можливе з даними Duong et al. [5], що застосовували підрахунок за кількістю одиниць для узбережжя провінції Кханьхоа в цілому. Duong et al. [5] фіксують частку пластику на рівні 79% від загальної кількості морського сміття, а полістирол ідентифікують як 47% від усіх пластикових предметів. У нашому дослідженні: пластик - 65,7%, пінополістирол - 12,8% від загальної кількості одиниць. Нижчі показники пояснюються насамперед

локальною аномалією Ділянки 5, де будівельні відходи (53,2% цегли) штучно знижують відносну частку полімерів у загальному масиві. Розрахунок без урахування Ділянки 5 дає показник пластику $\sim 70\%$ - суттєво ближче до значення [5]. Розбіжність у частці пінополістиролу (12,8% проти 47% у [5]) є більш принциповою і відображає різницю в об'єктах дослідження: [5] охоплює морське сміття у широкому розмірному діапазоні включно з мікрофракціями і фіксує масове поширення пінополістиролу аквакультурного походження, тоді як наша вибірка обмежена береговим макросміттям конкретних функціональних типів ділянок.

Абсолютні показники концентрації відходів набувають додаткового виміру при зіставленні з пороговими значеннями EU для макросміття. Hanke et al. [18] визначають критичний рівень у 20 предметів на 100 м берегової лінії. Перерахунок наших даних на цю метрику (трансекти довжиною 50 м, множимо на 2) показує: навіть на найменш забрудненій Ділянці 1 (центральний пляж Trần Phú) показник становить 244 предмети на 100 м - перевищення EU порогу у понад 12 разів. На Ділянці 4 (умовно-контрольна) цей показник сягає 1 798 предметів на 100 м - перевищення у 90 разів. На решті ділянок значення коливаються між цими крайніми точками, у всіх випадках перевищуючи EU поріг у десятки разів. Часовий ряд Fulfer et al. [2] для чотирьох ділянок узбережжя Нячанга підтверджує стабільно високий рівень забруднення впродовж попередніх років спостережень; наш разовий зріз квітня–травня 2026 р. вписується у задокументований [2] діапазон значень і не фіксує ознак покращення ситуації.

Регіональний контекст Південно-Східної Азії підкреслює масштаб проблеми. Purba et al. [8] на підставі даних берегових прибирань у країнах ПСА за 2012–2022 рр. встановлюють, що частка пластику перевищує 90% від загальної кількості зібраного сміття. Наш показник 65,7% є нижчим - однак це значною мірою артефакт локальної будівельної аномалії на Ділянці 5. Без цієї ділянки полімерна складова у нашому масиві становить близько 83% - суттєво ближче до регіонального тренду [8], хоча все ще дещо нижче через відмінність у методиці: берегові прибирання у [8] охоплюють ширший розмірний діапазон і

різноманітніші типи берегових зон. Загалом наші дані узгоджуються з регіональною картиною домінування полімерів і підтверджують, що берегова зона Нячанга відображає типові риси забруднення для країн ПСА з додатковим локальним чинником - будівельними відходами в мангровій екосистемі.

Принципове обмеження будь-якого разового зрізу сформульовано Maximenko et al. [19]: без часових рядів і просторово розподіленої мережі спостережень неможливо відрізнити поточний стан від тенденції - і відповідно обґрунтувати управлінські рішення. Наша робота виконує функцію baseline-дослідження: у її рамках встановлено вихідні концентрації і типологічні профілі для п'яти контрастних точок затоки Нячанг, а розроблений мобільний застосунок (підрозділ 2.4.2) разом з отриманими даними створюють методологічну основу для інтеграції у регіональні моніторингові мережі при подальших обстеженнях створюють методологічну основу для інтеграції у регіональні моніторингові мережі при подальших обстеженнях [21]. Перехід від разового зрізу до систематичного часового ряду є першочерговою умовою для оцінки ефективності природоохоронних заходів - і саме це визначає зміст наступного підрозділу.

3.6. Рекомендації щодо моніторингу та зниження забруднення

Результати, отримані у підрозділах 3.1–3.5, дозволяють сформулювати конкретні рекомендації двох рівнів: дослідницькі - спрямовані на усунення обмежень і верифікацію гіпотез цієї роботи - та управлінські, адресовані практиці природоохоронного менеджменту берегової зони Нячанга. Кожна рекомендація прив'язана до конкретної знахідки або обмеження, виявленого в ході дослідження, а не є загальною декларацією про необхідність охорони довкілля.

Першочерговим дослідницьким пріоритетом є розширення гідрохімічного моніторингу. Аномальне значення рН 8,88, зафіксоване на поверхні лагуни Đâm Nha Phu (Ділянка 5), є індикатором потенційної екологічної проблеми, але не її підтвердженням - одиничний поверхневий замір не дозволяє диференціювати природну мінливість від стійкої тенденції (підрозділ 3.4). Доцільним є проведення

систематичної рН-метрії з повним вертикальним профілем (мінімум три глибини) на всіх п'яти дослідних ділянках у два сезони - сухий і дощовий - з особливим акцентом на лагуні Đăm Nha Phu для верифікації гіпотези евтрофікації. Інфраструктурно цей моніторинг реалізується доповненням розробленого мобільного застосунку (підрозділ 2.4.2) модулем фіксації гідрохімічних показників та закупівлею резервного рН-метра для уникнення повторення проблеми технічної несправності, що виникла під час польового етапу цієї роботи.

Окремого дослідження потребує виявлена на Ділянці 5 будівельна аномалія. Гіпотеза про локальне скидання відходів з прилеглої сухопутної території (підрозділ 3.3) обґрунтована непрямыми свідченнями, але не верифікована прямими джерелознавчими даними. Обґрунтованим кроком стало б картування будівельної та дорожньої інфраструктури в радіусі прилеглої до лагуни ділянки із залученням місцевої адміністрації Đăm Nha Phu - для встановлення конкретних джерел надходження будівельних матеріалів. Додатковим інструментом верифікації може слугувати систематична фіксація динаміки накопичення цегли між повторними обстеженнями: стабільне поповнення запасів будівельного матеріалу між візитами є непрямим індикатором активності скидань і дозволить розмежувати разовий епізод від хронічного процесу.

На рівні муніципального управління найбільш практично реалізованою рекомендацією є включення периферійних ділянок берегової зони у маршрути регулярного прибирання. Ділянка 4 розташована в межах міської агломерації Нячанга, однак не охоплена існуючими маршрутами муніципальних служб - наслідком чого є рекордна концентрація відходів 1,058 од./м² і показник 1 798 предметів на 100 м берегової лінії, що перевищує ЕУ поріг [18] у 90 разів (підрозділ 3.5). Пропонується розширення зони обслуговування на північну периферію міської забудови - захід, що не потребує капітальних інвестицій, а лише коригування логістики вже існуючих служб прибирання. Запропоновані заходи відповідають принципам інтегрованого управління морськими

екосистемами В'єтнаму [20], що передбачає поєднання локальних практичних рішень із регіональною стратегією охорони прибережних територій.

Підвищення обізнаності відвідувачів про природоохоронний статус затоки є передумовою для зниження туристичної складової забруднення. За даними [14], лише 9,6% іноземних туристів знають про існування морського заповідника в затоці Нячанг; туристичне сміття при цьому становить 20,5% від загальної кількості одиниць на центральному пляжі (Ділянка 1) і проявляється у характерному домінуванні дрібної упаковки класу S (підрозділ 3.2). Доцільним є розміщення інформаційних стендів і QR-кодів у зонах найвищого туристичного потоку з мовною локалізацією основними мовами туристичного потоку Нячанга - в'єтнамською, англійською, а також додатковими мовами найбільших груп іноземних відвідувачів. Конкретний перелік мов має визначатися окремим маркетинговим аналізом туристичного потоку, що виходить за межі цієї роботи.

Фундаментальним обмеженням цього дослідження, як зазначено у підрозділі 3.5, є його разовий характер. Пропонується формування часового ряду спостережень у форматі мінімум трирічного циклу - з двома обстеженнями на рік на тих самих п'яти точках у сухий (лютий-березень) і дощовий (жовтень-листопад) сезони. Використання розробленого мобільного застосунку (підрозділ 2.4.2) як основного інструменту збору даних забезпечить стандартизацію протоколу і сумісність результатів між сезонами та роками, що є необхідною умовою для оцінки динаміки і виявлення тенденцій відповідно до принципів інтегрованого моніторингу [19].

Нарешті, технологічне розширення методики обстежень підвищить зіставність наших даних з міжнародними дослідженнями. Включення FTIR-аналізу полімерного складу дозволить перейти від візуальної класифікації типу предмета до верифікованої ідентифікації полімеру - і тим самим зробити наші структурні дані безпосередньо порівнянними з результатами Duong et al. [5], що ідентифікували PS як 47% від усього пластику в Кханьхоа. Паралельне зважування відходів відкриє можливість для повноцінного зіставлення з масовими показниками Fruergaard et al. [4] і усуне методологічний бар'єр між

кількісними і масовими метриками, що ускладнює порівняння у підрозділі 3.5. Обидва розширення не є обов'язковими для підтримання базового моніторингу, але суттєво підвищують наукову цінність подальших обстежень.

Висновки до розділу 3

1. Натурні обстеження п'яти типологічно контрастних ділянок берегової зони Нячанга зафіксували загалом 2 122 одиниці макросміття на сукупній площі 3 850 м², що відповідає середній щільності 0,551 од./м². Просторовий розподіл відходів є суттєво нерівномірним: концентрація варіює у 4,3 раза між мінімальною (0,244 од./м², центральний пляж) і максимальною (1,058 од./м², умовно-контрольна ділянка) точками. Значення рН прибережних вод на двох ділянках з повними профілями (8,12–8,40) відповідають нормі для прибережних морських вод; аномально високе значення на Ділянці 5 (8,88) є індикатором потенційної евтрофікації лагуни Đầm Nha Phu, що потребує верифікації систематичним моніторингом.

2. Матеріальний склад зафіксованих відходів характеризується домінуванням полімерних матеріалів - пластик і пінополістирол разом становлять 78,5% від загальної кількості одиниць, побутове походження ідентифіковано у 73,4% предметів. Поряд із цими загальними закономірностями виявлено чотири структурні аномалії: домінування будівельних відходів і цегли на мангровій ділянці (63,9% будівельного походження), найвища частка туристичного сміття на центральному пляжі (20,5%), парадоксально висока частка рибальського компонента на умовно-контрольній ділянці (13,5%) та майже повне домінування побутового сміття у рибальсько-аквакультурній зоні (89,1%) - кожна аномалія відображає специфічний механізм формування забруднення на конкретній ділянці.

3. Порівняльний аналіз виявив, що концентрація і склад відходів визначаються взаємодією чотирьох незалежних чинників: інтенсивністю та характером прямого антропогенного навантаження, наявністю або відсутністю активного управління береговою зоною, гідродинамічним перерозподілом відходів через течії і паводки, а також морфологією берегової смуги і характером

прилеглої забудови. Жоден із цих чинників не є самодостатнім: саме їхня взаємодія пояснює, зокрема, чому ділянка з мінімальним прямим навантаженням демонструє максимальну концентрацію відходів, а туристична ділянка з максимальним потоком відвідувачів - мінімальну. Це обмежує застосовність спрощених типологічних моделей у прибережних дослідженнях і ставить управлінське втручання в один ряд із природними чинниками як детермінант стану забруднення.

4. Виявлене забруднення несе комплексні екологічні наслідки для компонентів прибережної екосистеми Нячанга. Накопичення будівельних матеріалів у мангровому масиві Đầm Nha Phu є потенційно більш стійким типом деградації порівняно з пластиковою акумуляцією: важкі фрагменти закріплюються в субстраті і можуть необоротно змінювати мікрорельєф і гідрологію заростей. Рибальське спорядження і дрібна пластикова фракція на різних ділянках формують ризики заплутування і заковтування для морської біоти, а просторова суміжність аквакультурних ферм із найбільш забрудненими ділянками створює потенційний канал надходження мікропластику у харчовий ланцюг. Соціально-економічні наслідки реалізуються через деградацію туристичної привабливості узбережжя і погіршення умов рибальства та аквакультури, що забезпечує близько 30% доходів домогосподарств регіону.

5. Зіставлення з регіональними дослідженнями підтверджує узгодженість отриманих результатів із загальними тенденціями після врахування методологічних відмінностей. Нижча порівняно з літературними даними частка полімерів (65,7%) пояснюється локальною будівельною аномалією Ділянки 5; без її врахування показник зростає до ~83%, що суттєво ближче до регіонального тренду для країн Південно-Східної Азії. Усі обстежені ділянки перевищують встановлений для країн ЄС пороговий показник макросміття у 12–90 разів, що підтверджує критичний рівень забруднення берегової зони Нячанга незалежно від методологічних відмінностей між дослідженнями.

6. Ця робота виконує функцію baseline-дослідження: вперше встановлено кількісні і типологічні показники забруднення для п'яти контрастних

точок затоки Нячанг, що слугують відправною точкою для оцінки майбутньої динаміки. Сформульовані рекомендації охоплюють два рівні - дослідницький (верифікація гіпотези евтрофікації лагуни, встановлення джерел будівельних відходів, розширення методики FTIR-аналізом і зважуванням) і управлінський (розширення маршрутів муніципального прибирання, інформаційна робота з туристами). Перетворення разового зрізу на систематичний часовий ряд спостережень з використанням розробленого цифрового інструментарію є необхідною умовою для обґрунтованої оцінки ефективності природоохоронних заходів - що виходить за межі цієї роботи, але становить її пряме продовження.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Аналіз наукової літератури засвідчив, що забруднення прибережних зон твердими побутовими відходами є глобальною екологічною проблемою, яка набула особливої гостроти в регіоні Південно-Східної Азії. В'єтнам входить до четвірки країн світу за обсягами викидів пластику в океан, а затока Нячанг визначена дослідниками як один із світових осередків пластикового забруднення з середньою щільністю відходів, що на порядок перевищує середньосвітові показники. Структура забруднення у регіоні визначається поєднанням наземних і морських джерел, серед яких провідну роль відіграють рибальство, аквакультура та побутові відходи, а сезонні паводки є ключовим механізмом їх транспортування до морського середовища. Попри значну кількість регіональних досліджень, у наявній літературі відсутній порівняльний аналіз ділянок різного функціонального типу в межах єдиної затоки, що обумовило актуальність і напрям цієї роботи.

2. Берегова зона м. Нячанг являє собою напівзамкнену акваторію з нерегулярним діурнальним припливним режимом, інтенсивним паводковим стоком через річку Кай та активно зростаючою міською агломерацією, сукупність яких формує умови для постійного надходження і накопичення відходів. Антропогенне навантаження визначається трьома взаємопов'язаними векторами: масовим туризмом із щорічним потоком понад 7 млн відвідувачів, інтенсивним рибальством та аквакультурою в умовах слабого регулювання і міською системою збору відходів, розрахованою на базове постійне населення, але не на пікове сезонне навантаження. П'ять дослідних ділянок обрано за типологічним принципом, що охоплює ключові функціональні типи берегових зон затоки: туристичний пляж, рибальсько-аквакультурну зону, гирло річки Кай, умовно-контрольну периферійну ділянку та мангровий масив лагуни Đầm Nha Phu. Типологічний підхід підвищує інформативність даних, отриманих з обмеженої кількості замірів, виявляючи зв'язок між характером навантаження і профілем забруднення.

3. Польові обстеження виконано методом разового обліку накопиченого сміття (standing stock approach) на трансектах завдовжки 50 м із реєстрацією відходів

розміром понад 2,5 см; класифікацію проводили за матеріальним складом, джерелом походження та розмірним класом. Допоміжним методом слугувала рН-метрія прибережних вод з вертикальним профілюванням на трьох ділянках. Для збору та зберігання польових даних розроблено мобільний застосунок (React + Firebase Firestore), що забезпечує автоматичну GPS-прив'язку, стандартизоване структуроване введення даних і синхронізацію у хмарне сховище. Застосування цифрового інструментарію власної розробки мінімізувало ризик втрати даних і унеможливило помилки при перенесенні польових записів, забезпечивши єдиний відтворюваний протокол для всіх п'яти обстежень.

4. На загальній площі трансект 3 850 м² зафіксовано 2 122 одиниці макросміття із середньою щільністю 0,551 од./м², що багатократно перевищує граничні значення ЄС для забруднення макросміттям на всіх без винятку обстежених ділянках. Просторовий розподіл є суттєво нерівномірним: концентрація варіює у 4,3 раза між мінімальним значенням на центральному туристичному пляжі і максимальним на умовно-контрольній периферійній ділянці. У матеріальному складі домінують полімерні матеріали - пластик і пінополістирол разом становлять 78,5% від загальної кількості одиниць, - що узгоджується із регіональними тенденціями для країн Південно-Східної Азії. За джерелом походження переважають побутові відходи (73,4%), тоді як будівельна, рибальська і туристична складові розподілені вкрай нерівномірно між ділянками.

5. Порівняльний аналіз виявив чотири структурні аномалії, кожна з яких відображає специфічний механізм формування забруднення: домінування будівельних відходів у мангровому масиві Đầm Nha Phu (63,9% будівельного походження), найвища частка туристичного сміття на центральному пляжі (20,5%), парадоксально висока частка рибальського компонента на умовно-контрольній ділянці (13,5%) та майже повне домінування побутових відходів у рибальсько-аквакультурній зоні (89,1%). Аналіз причин цих аномалій дозволив встановити, що концентрація і склад відходів у прибережній зоні визначаються взаємодією чотирьох незалежних чинників: інтенсивністю та характером прямого антропогенного навантаження, наявністю або відсутністю активного управління береговою зоною,

гідродинамічним перерозподілом відходів через течії і паводки, а також морфологією берегової смуги і характером прилеглої забудови. Жоден із цих чинників не є самодостатнім, а їхня взаємодія пояснює, зокрема, чому ділянка з мінімальним прямим навантаженням демонструє максимальну концентрацію відходів, а туристична ділянка з максимальним потоком відвідувачів - мінімальну. Це обмежує застосовність спрощених типологічних моделей у прибережних дослідженнях і ставить управлінське втручання в один ряд із природними чинниками як детермінант стану забруднення.

6. На основі отриманих результатів сформульовано рекомендації двох рівнів. На дослідницькому рівні пріоритетними є: систематична рН-метрія лагуни Đâm Nha Phu для верифікації гіпотези евтрофікації (аномальне поверхнєве значення 8,88); картування джерел будівельних відходів у прилеглий до мангрового масиву зоні; розширення методики FTIR-аналізом полімерного складу і зважуванням для забезпечення зіставності з міжнародними дослідженнями; формування трирічного часового ряду спостережень із двома обстеженнями на рік. На управлінському рівні першочерговими є включення периферійних ділянок берегової зони у маршрути муніципального прибирання та інформаційна робота з туристами щодо природоохоронного статусу затоки - за наявними даними, лише 9,6% іноземних відвідувачів обізнані про існування морського заповідника.

7. Проведене дослідження є першим порівняльним типологічним baseline-аналізом забруднення берегової зони Нячанга, що охоплює п'ять контрастних функціональних типів ділянок в межах єдиної затоки в ході одночасних польових обстежень. Встановлені кількісні й типологічні показники забруднення та розроблений цифровий інструментарій формують методологічну основу для інтеграції у регіональні моніторингові мережі і слугують відправною точкою для оцінки майбутньої динаміки. Перетворення разового зрізу на систематичний часовий ряд спостережень із використанням стандартизованого протоколу є необхідною умовою для обґрунтованої оцінки ефективності природоохоронних заходів і обґрунтування управлінських рішень на локальному рівні.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Thushari G. G. N., Senevirathna J. D. M. Plastic pollution in the marine environment. *Heliyon*. 2020. Vol. 6, Iss. 8. Art. e04709. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04709>.
2. Fulfer V. M., Nguyen-Ngoc L., Walsh J. P. Time-series of shoreline marine debris highlights impact of urbanization on coastal pollution pathways, Nha Trang, Vietnam. *Marine Pollution Bulletin*. 2025. Vol. 218. Art. 118156. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2025.118156>.
3. Dang H. T. T. Coastal and marine plastic debris in Vietnam: assessing the impacts on ecosystems, human health, and infrastructure. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2026. Vol. 1604. Art. 012004. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1604/1/012004>.
4. Fruergaard M. та ін. Abundance and sources of plastic debris on beaches in a plastic hotspot, Nha Trang, Viet Nam. *Marine Pollution Bulletin*. 2023. Vol. 186. Art. 114394. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2022.114394>.
5. Duong T. L. та ін. Macro- and meso- marine debris on beaches in Khanh Hoa Province, Vietnam: density, composition, and pollution indicators. *Vietnam Journal of Marine Science and Technology*. 2023. Vol. 23, No 4. P. 387–396. DOI: <https://doi.org/10.15625/1859-3097/18234>.
6. Pham T. M. T. та ін. Initial assessment of the presence of plastic waste in some coastal mangrove forests in Vietnam. *Green Processing and Synthesis*. 2023. Vol. 12. Art. 20230037. DOI: <https://doi.org/10.1515/gps-2023-0037>.
7. *Report on plastic waste generation in 2022* / WWF-Vietnam. Hanoi : Thanh Nien Publishing House, 2023. 96 p. URL: https://wwfasia.awsassets.panda.org/downloads/eng_wwf_a4_bao-caoc-chat-thai-nhua_260124.pdf.
8. Purba N. P. та ін. Coastal clean-up in Southeast Asia: lessons learned, challenges, and future strategies. *Frontiers in Marine Science*. 2023. Vol. 10. Art. 1250736. DOI: <https://doi.org/10.3389/fmars.2023.1250736>.

9. Lippiatt S., Opfer S., Arthur C. *Marine Debris Monitoring and Assessment: Recommendations for Monitoring Debris Trends in the Marine Environment*. NOAA Technical Memorandum NOS-OR&R-46. Silver Spring, MD : NOAA Marine Debris Program, 2013. 88 p. URL: https://marinedebris.noaa.gov/sites/default/files/Lippiatt_et_al_2013.pdf.
10. Thapa K. та ін. Towards a just circular economy transition: the case of European plastic waste trade to Vietnam for recycling. *Circular Economy and Sustainability*. 2024. Vol. 4, No 2. P. 851–876. DOI: <https://doi.org/10.1007/s43615-023-00330-w>.
11. Tekman M. B. та ін. *Impacts of plastic pollution in the oceans on marine species, biodiversity and ecosystems*. Berlin : WWF Germany, 2022. 221 p. ISBN 978-3-946211-46-4. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.5898684>.
12. Santodomingo N. та ін. Marine litter pollution on coral reefs of Darvel Bay (East Sabah, Malaysia). *Marine Pollution Bulletin*. 2021. Vol. 173. Art. 112998. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112998>.
13. Hoang T. T. H., Dang K. B., Van Rompaey A. Comprehensive assessment of coastal tourism potential in Vietnam. *Vietnam Journal of Earth Sciences*. 2022. P. 1–23. DOI: <https://doi.org/10.15625/2615-9783/17374>.
14. Kaida N., Dang N. A. Tourists' perception of marine ecosystem conservation in the Nha Trang Bay Marine Protected Area, Vietnam. *Tropics*. 2016. Vol. 24, No 4. P. 187–194. DOI: <https://doi.org/10.3759/tropics.24.187>.
15. Verma R. L., Borongan G., Memon M. Municipal solid waste management in Ho Chi Minh City, Viet Nam, current practices and future recommendation. *Procedia Environmental Sciences*. 2016. Vol. 35. P. 127–139. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2016.07.059>.
16. *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* / ed. by V. Masson-Delmotte та ін. Cambridge ; New York : Cambridge University Press, 2021. 2391 p. DOI: <https://doi.org/10.1017/9781009157896>.

17. Nguyen T.-H., To T. H., Dao T.-S. Microplastics in Vietnamese seafood and potential human exposure: a mini-review. *Vietnam Journal of Science and Technology and Engineering*. 2026. Vol. 68, No 1. P. 110–119. DOI: <https://doi.org/10.31276/VJSTE.2025.0018>.

18. Van Loon W. та ін. *A European Threshold Value and Assessment Method for Macro Litter on Coastlines*. EUR 30347 EN. Luxembourg : Publications Office of the European Union, 2020. ISBN 978-92-76-21444-1. DOI: <https://doi.org/10.2760/54369>.

19. Maximenko N. та ін. An integrated observing system for monitoring marine debris and biodiversity. *Oceanography*. 2021. Vol. 34, No 4. Supplement. P. 52–59. URL: <https://www.jstor.org/stable/27217342>.

20. Pham Q. G., Khanal R. What next for marine ecosystem management in Vietnam: assessment of coastal economy, climate change, and policy implication. *Environmental Research Communications*. 2024. Vol. 6. Art. 025002. DOI: <https://doi.org/10.1088/2515-7620/ad19a5>.

21. Науменко Д.О., Карпов В.Г. Макросміття як індикатор функціонального навантаження на берегову зону затоки Нячанг (В'єтнам). Зб. матеріалів XXVIII Міжнародної науково-практичної конференції «Екологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування: освіта - наука - виробництво - 2026» (м. Харків, 23-24 квітня 2026 року). - Харків: ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2026. С. 38–41.

ДОДАТКИ

КООРДИНАТИ ДОСЛІДНИХ ДІЛЯНОК



Таблиця А.1

Координати дослідних ділянок (система WGS-84)

Ділянка	Широта	Довгота
Trần Phú (центральный пляж)	12,255024° пн.ш.	109,197139° сх.д.
Vĩnh Lương (рибальсько-аквакультурна)	12,341112° пн.ш.	109,201683° сх.д.
Гирло р. Кай	12,259814° пн.ш.	109,198069° сх.д.
Умовно-контрольна (північна периферія)	12,323556° пн.ш.	109,212831° сх.д.
Đầm Nha Phu (мангрова зона)	12,388914° пн.ш.	109,193366° сх.д.

Координати отримано за допомогою мобільного застосунку польових обстежень з автоматичною GPS-прив'язкою (підрозділ 2.4.2) та звірено через Google Earth Pro з точністю до тисячних градуса (приблизно $\pm 0,1$ м на місцевості).

ЗВЕДЕНІ ТАБЛИЦІ ПОЛЬОВИХ ОБСТЕЖЕНЬ

У Додатку наведено повний обсяг кількісних даних, отриманих під час натурних обстежень п'яти дослідних ділянок берегової зони м. Нячанг у квітні–травні 2026 р. Таблиця Б.1 містить зведений реєстр обстежень із основними агрегатами по кожній ділянці. Таблиці Б.2–Б.6 відображають повну структуру зафіксованих відходів за матеріалом, джерелом походження та розмірним класом для кожної з п'яти ділянок окремо. Таблиця Б.7 містить результати рН-метрії прибережних вод на трьох ділянках, де вимірювання було можливим. Збір і документування даних здійснювались за допомогою спеціально розробленого мобільного застосунку (підрозділ 2.4.2).

Таблиця Б.1

Зведений реєстр польових обстежень

№	Ділянка	Дата	Площа, м ²	Усього од.	Концентрація, од./м ²	рН (профіль)
1	Trần Phú (центральний пляж)	05.05.2026	500	122	0,244	-
2	Vĩnh Lương (рибальсько-аквак.)	30.04.2026	1 750	740	0,423	8,31 / 8,28 / 8,34
3	Гирло р. Кай	04.05.2026	250	156	0,624	-
4	Умовно-контрольна (півн. периф.)	29.04.2026	850	899	1,058	8,12 / 8,36 / 8,40
5	Đầm Nha Phu (мангрова зона)	30.04.2026	500	205	0,410	8,88 (поверхневий)
Сумарно / середнє:			3 850	2 122	0,551	-

Таблиця Б.2

Структура відходів на Ділянці 1 (Trần Phú, центральний пляж)

№	Матеріал	Джерело	Розмір	Кількість, од.	Частка, %
1	Пінопласт	Побутове	S	30	24,6
2	Пластик	Побутове	S	24	19,7
3	Папір	Туристичне	S	20	16,4
4	Пластик	Побутове	M	14	11,5
5	Органіка	Невідомо	M	11	9,0
6	Пінопласт	Побутове	M	9	7,4
7	Інше	Туристичне	M	2	1,6
8	Пластик	Туристичне	M	2	1,6

9	Органіка	Невідомо	L	2	1,6
10	Інше	Будівельне	M	1	0,8
11	Органіка	Побутове	M	1	0,8
12	Пінопласт	Побутове	L	1	0,8
13	Папір	Побутове	S	1	0,8
14	Тканина	Побутове	S	1	0,8
15	Пластик	Невідомо	S	1	0,8
16	Резина	Невідомо	M	1	0,8
17	Тканина	Туристичне	M	1	0,8
Усього:				122	100,0

Примітка: розмірна класифікація - S (2,5–10 см), M (10–50 см), L (більше 50 см); розмір визначений за найдовшою віссю предмета (підрозділ 2.4.2).

Таблиця Б.3

Структура відходів на Ділянці 2 (Vĩnh Lương, рибальсько-аквакультурна зона)

№	Матеріал	Джерело	Розмір	Кількість, од.	Частка, %
1	Пластик	Побутове	M	380	51,4
2	Пінопласт	Побутове	M	186	25,1
3	Пластик	Побутове	S	48	6,5
4	Органіка	Невідомо	M	16	2,2
5	Пластик	Побутове	L	15	2,0
6	Пінопласт	Побутове	S	15	2,0
7	Резина	Побутове	M	10	1,4
8	Тканина	Невідомо	M	8	1,1
9	Інше	Невідомо	M	7	0,9
10	Інше	Будівельне	L	6	0,8
11	Інше	Туристичне	M	5	0,7
12	Інше	Невідомо	L	3	0,4
13	Пластик	Будівельне	L	3	0,4
14	Пластик	Рибальське	L	3	0,4
15	Інше	Рибальське	M	3	0,4
16	Пластик	Будівельне	M	2	0,3
17	Інше	Будівельне	M	2	0,3
18	Тканина	Невідомо	L	2	0,3
19	Тканина	Рибальське	M	2	0,3
20	Пінопласт	Невідомо	L	2	0,3
21	Тканина	Побутове	M	2	0,3
22	Інше	Рибальське	L	2	0,3
23	Тканина	Будівельне	M	2	0,3
24	Метал	Туристичне	S	2	0,3
25	Органіка	Туристичне	M	2	0,3
26	Органіка	Побутове	M	1	0,1
27	Пластик	Рибальське	S	1	0,1
28	Пінопласт	Невідомо	S	1	0,1

29	Органіка	Побутове	L	1	0,1
30	Резина	Побутове	S	1	0,1
31	Пінопласт	Невідомо	M	1	0,1
32	Інше	Туристичне	L	1	0,1
33	Резина	Будівельне	M	1	0,1
34	Тканина	Туристичне	M	1	0,1
35	Пластик	Невідомо	S	1	0,1
36	Тканина	Будівельне	S	1	0,1
37	Тканина	Туристичне	S	1	0,1
Усього:				740	100,0

Примітка: розмірна класифікація - S (2,5–10 см), M (10–50 см), L (більше 50 см); розмір визначений за найдовшою віссю предмета (підрозділ 2.4.2).

Таблиця Б.4

Структура відходів на Ділянці 3 (гирло р. Кай)

№	Матеріал	Джерело	Розмір	Кількість, од.	Частка, %
1	Пластик	Побутове	M	61	39,1
2	Пластик	Побутове	S	28	17,9
3	Пінопласт	Побутове	M	15	9,6
4	Пінопласт	Побутове	S	8	5,1
5	Папір	Побутове	S	7	4,5
6	Папір	Побутове	M	7	4,5
7	Тканина	Побутове	M	4	2,6
8	Органіка	Невідомо	M	3	1,9
9	Пластик	Будівельне	M	3	1,9
10	Тканина	Невідомо	S	2	1,3
11	Інше	Будівельне	L	2	1,3
12	Тканина	Будівельне	M	1	0,6
13	Резина	Невідомо	M	1	0,6
14	Інше	Невідомо	S	1	0,6
15	Пінопласт	Будівельне	M	1	0,6
16	Інше	Туристичне	M	1	0,6
17	Інше	Побутове	M	1	0,6
18	Цегла	Невідомо	L	1	0,6
19	Тканина	Побутове	S	1	0,6
20	Скло	Побутове	M	1	0,6
21	Тканина	Невідомо	M	1	0,6
22	Папір	Невідомо	S	1	0,6
23	Пінопласт	Побутове	L	1	0,6
24	Інше	Рибальське	L	1	0,6
25	Інше	Рибальське	M	1	0,6
26	Інше	Будівельне	M	1	0,6
27	Пінопласт	Невідомо	M	1	0,6
Усього:				156	100,0

Примітка: розмірна класифікація - S (2,5–10 см), M (10–50 см), L (більше 50 см); розмір визначений за найдовшою віссю предмета (підрозділ 2.4.2).

Таблиця Б.5

Структура відходів на Ділянці 4 (умовно-контрольна, північна периферія)

№	Матеріал	Джерело	Розмір	Кількість, од.	Частка, %
1	Пластик	Побутове	M	450	50,1
2	Пластик	Побутове	S	142	15,8
3	Інше	Туристичне	M	50	5,6
4	Пластик	Рибальське	M	47	5,2
5	Органіка	Невідомо	M	33	3,7
6	Інше	Рибальське	M	23	2,6
7	Пластик	Рибальське	S	20	2,2
8	Пластик	Побутове	L	19	2,1
9	Пластик	Туристичне	M	18	2,0
10	Інше	Рибальське	L	17	1,9
11	Інше	Будівельне	M	13	1,4
12	Пластик	Будівельне	M	12	1,3
13	Пластик	Рибальське	L	8	0,9
14	Пластик	Невідомо	S	5	0,6
15	Пластик	Будівельне	L	5	0,6
16	Інше	Невідомо	M	4	0,4
17	Інше	Рибальське	S	4	0,4
18	Пластик	Туристичне	S	4	0,4
19	Органіка	Невідомо	L	4	0,4
20	Пластик	Невідомо	M	3	0,3
21	Інше	Побутове	S	3	0,3
22	Інше	Туристичне	S	2	0,2
23	Органіка	Побутове	M	2	0,2
24	Органіка	Рибальське	M	2	0,2
25	Інше	Невідомо	L	2	0,2
26	Органіка	Невідомо	S	1	0,1
27	Пластик	Невідомо	L	1	0,1
28	Метал	Побутове	M	1	0,1
29	Скло	Невідомо	S	1	0,1
30	Інше	Будівельне	L	1	0,1
31	Інше	Побутове	M	1	0,1
32	Папір	Побутове	M	1	0,1
Усього:				899	100,0

Примітка: розмірна класифікація - S (2,5–10 см), M (10–50 см), L (більше 50 см); розмір визначений за найдовшою віссю предмета (підрозділ 2.4.2).

Таблиця Б.6

Структура відходів на Ділянці 5 (Đầm Nha Phu, мангрова зона)

№	Матеріал	Джерело	Розмір	Кількість, од.	Частка, %
1	Цегла	Будівельне	М	78	38,0
2	Пластик	Побутове	М	47	22,9
3	Цегла	Будівельне	L	31	15,1
4	Пластик	Будівельне	М	14	6,8
5	Пластик	Побутове	S	10	4,9
6	Органіка	Будівельне	М	3	1,5
7	Інше	Будівельне	М	3	1,5
8	Інше	Будівельне	L	2	1,0
9	Скло	Побутове	S	2	1,0
10	Органіка	Побутове	М	2	1,0
11	Пінопласт	Побутове	М	1	0,5
12	Інше	Побутове	М	1	0,5
13	Інше	Невідомо	L	1	0,5
14	Пластик	Рибальське	S	1	0,5
15	Пластик	Невідомо	L	1	0,5
16	Органіка	Невідомо	М	1	0,5
17	Папір	Туристичне	S	1	0,5
18	Скло	Туристичне	М	1	0,5
19	Інше	Невідомо	М	1	0,5
20	Скло	Невідомо	М	1	0,5
21	Пластик	Туристичне	S	1	0,5
22	Інше	Туристичне	М	1	0,5
23	Пластик	Побутове	L	1	0,5
Усього:				205	100,0

Примітка: розмірна класифікація - S (2,5–10 см), М (10–50 см), L (більше 50 см); розмір визначений за найдовшою віссю предмета (підрозділ 2.4.2).

Таблиця Б.7

Результати рН-метрії прибережних вод

№	Ділянка	Дата	Кромка води	Глибина 0,5 м	Глибина 1 м
2	Vĩnh Lương	30.04.2026	8,31	8,28	8,34
4	Умовно-контрольна	29.04.2026	8,12	8,36	8,40
5	Đầm Nha Phu (мангри)	30.04.2026	8,88	-	-

Примітка: на Ділянках 1 (Trần Phú) і 3 (гирло р. Кай) вимірювання рН не проводилось унаслідок технічної несправності приладу, що виникла під час обстеження Ділянки 3 (04.05.2026). На Ділянці 5 (Đầm Nha Phu) виконано лише поверхневий замір на урізі води; подальші вимірювання вертикального профілю виявились неможливими через високу каламутність вод і мулистий характер ложа лагуни. Детально - підрозділ 2.4.3.

ТЕХНІЧНИЙ ОПИС МОБІЛЬНОГО ЗАСТОСУНКУ ДЛЯ ПОЛЬОВИХ
ОБСТЕЖЕНЬ

В.1. Призначення та мотивація розробки

Мобільний застосунок розроблено автором роботи спеціально для цілей цього дослідження як інструмент стандартизованого збору і документування польових даних під час обстеження берегового макросміття. Розробка зумовлена двома практичними завданнями: по-перше, необхідністю мінімізувати ризик втрати або помилок при перенесенні польових записів з паперових бланків у цифровий формат; по-друге, забезпеченням єдиної структури введення даних (матеріал, джерело, розмірний клас, кількість одиниць) на всіх п'яти ділянках для коректного подальшого зіставлення. Застосунок повністю замінює паперовий польовий бланк і працює як автономний цифровий інструментарій із автоматичною прив'язкою до GPS-координат і подальшою синхронізацією у хмарне сховище.

В.2. Технологічний стек

Таблиця В.1

Технологічний стек мобільного застосунку

Компонент	Технологія	Призначення
Frontend (UI)	React 18	Компонентний інтерфейс для введення польових даних, навігація між ділянками
База даних	Firebase Firestore	Хмарне зберігання записів обстежень з реальним часом синхронізації
Хостинг застосунку	GitHub Pages	Безкоштовний веб-хостинг із прив'язкою до Git-репозиторію
Геолокація	Browser Geolocation API	Автоматична фіксація GPS-координат точки обстеження
Контроль версій	Git / GitHub	Версіювання коду, історія змін, відтворюваність побудови

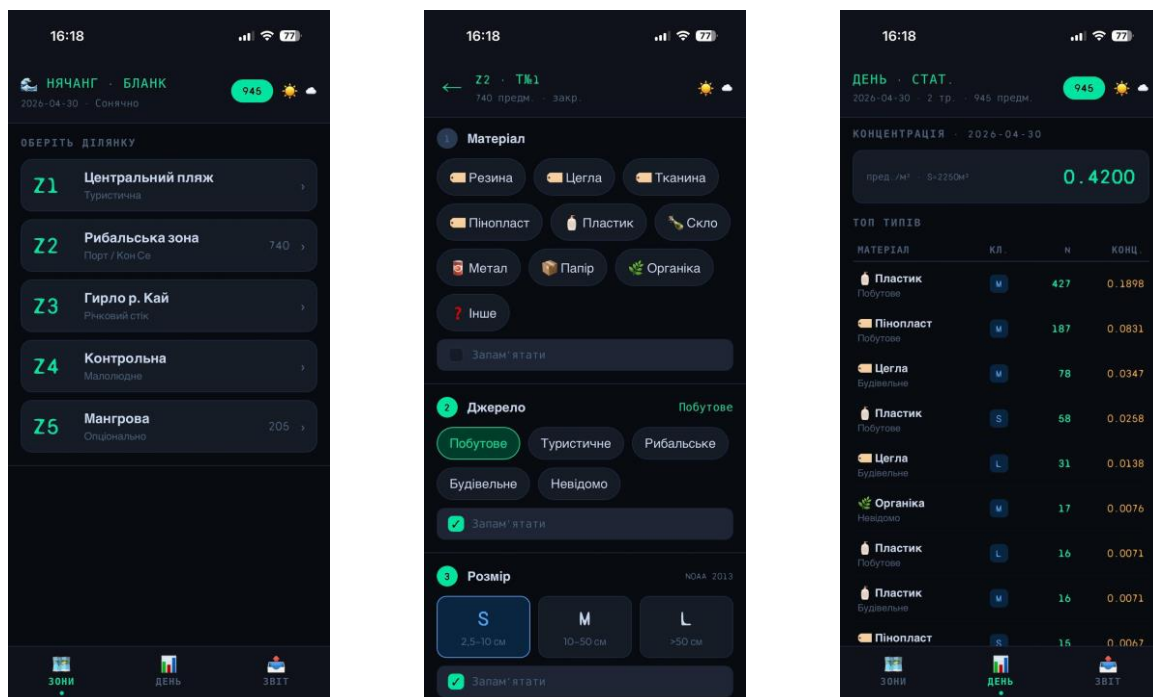
В.3. Основні функції

Функціональний обсяг застосунку охоплює повний цикл польового обстеження - від вибору ділянки до перегляду агрегованих результатів:

- Вибір ділянки - стартовий екран із п'ятьма попередньо налаштованими типологічно контрастними ділянками (Z1–Z5) і поточним підсумком зафіксованих одиниць по кожній.
- Структуроване введення даних - форма обліку за трьома обов'язковими критеріями (матеріал, джерело походження, розмірний клас), з кнопкою «Запам'ятати» для прискорення введення серій предметів одного типу.
- Автоматична GPS-прив'язка - фіксація координат початку обстеження через Browser Geolocation API без потреби ручного введення.
- Зведена статистика - екран «День», що відображає поточну концентрацію (од./м²), розраховану у реальному часі при кожному новому записі, і ранжований перелік виявлених типів відходів.
- Хмарна синхронізація - автоматичне збереження кожного запису у Firebase Firestore без затримки, що унеможливорює втрату даних при збоях інтернет-з'єднання чи розряджанні пристрою.
- Експорт результатів - режим «Звіт» для перегляду і експорту накопичених даних обстеження для подальшої статистичної обробки.

В.4. Інтерфейс користувача

Інтерфейс реалізовано у тематиці темного режиму з використанням системи смислових кольорів: акценти зеленого (поточно активні стани, заголовки розділів), синього (ідентифікатори ділянок і розмірних класів), помаранчевого (числові значення концентрацій). Навігація трирежимна: «Зони» - вибір ділянки, «День» - статистика поточного обстеження, «Звіт» - експорт даних.



(а) Вибір ділянки

(б) Форма обліку
предмета

(в) Зведена статистика

Рис. В.1 - Основні екрани мобільного застосунку для польових обстежень: (а) стартовий екран вибору ділянки з підсумком зафіксованих одиниць по кожній з п'яти точок обстеження; (б) форма обліку окремого предмета з поетапним вибором матеріалу, джерела походження та розмірного класу за стандартом NOAA 2013; (в) екран зведеної статистики поточного обстеження з розрахунком концентрації відходів у реальному часі та ранжованим переліком домінуючих категорій.

В.5. Робочий процес обстеження

Застосунок використовувався протягом усіх п'яти польових обстежень (29.04–05.05.2026). Типовий робочий процес на одній ділянці складався з таких кроків:

1. Вибір типу ділянки на стартовому екрані (Z1–Z5).
2. Автоматична фіксація GPS-координат початку трансекти.
3. Послідовне внесення кожного зафіксованого предмета - вибір матеріалу, джерела і розмірного класу через тапи по чіпам у формі обліку.
4. Автоматична синхронізація запису у Firebase Firestore після підтвердження.

5. Перегляд проміжних агрегатів на екрані «День» для контролю покриття трансекти.

В.6. Доступ до коду застосунку

Вихідний код застосунку відкритий і доступний у GitHub-репозиторії автора (URL - <https://github.com/EzDavidos/field-survey>). Робоча версія застосунку розгорнута на GitHub Pages і доступна для запуску у будь-якому сучасному мобільному браузері без необхідності встановлення (URL - <https://ezdavidos.github.io/field-survey/>). Така архітектура забезпечує відтворюваність методики й уможливлює адаптацію застосунку до інших регіональних досліджень при подальшому моніторингу - наприклад, через зміну переліку ділянок або додавання нових категорій матеріалу/джерела.

ФОТОМАТЕРІАЛИ З НАТУРНИХ ОБСТЕЖЕНЬ

У Додатку наведено фотоматеріали з натурних обстежень п'яти дослідних ділянок берегової зони м. Нячанг, виконаних 29.04–05.05.2026 р. Фотодокументація послідовно охоплює всі ділянки за принципом «загальний вид → окремі знахідки»: спочатку панорамний знімок, що ілюструє ландшафтний контекст і характер берегової зони, далі - детальні фото окремих предметів макросміття з вимірювальною стрічкою (3 м) для верифікації розмірного класу за NOAA-стандартом (підрозділ 2.4.2). Особливу увагу приділено візуальному документуванню чотирьох виявлених структурних аномалій: домінування побутового сміття у функціонально рибальсько-аквакультурній зоні (Ділянка 2); туристичної складової на центральному пляжі (Ділянка 1); парадоксально високої концентрації відходів на умовно-контрольній ділянці внаслідок гідродинамічної акумуляції (Ділянка 4); та домінування будівельних відходів у мангровому масиві Đầm Nha Phu (Ділянка 5).

Г.1. Ділянка 1 - Trần Phú (центральный туристичний пляж)



Рис. Г.1 - Загальний вид Ділянки 1 (Trần Phú): піщана берегова смуга центральної рекреаційної зони м. Нячанг з накопиченнями плавучого сміття

вздовж смуги припливу та фрагментарними знахідками побутово-туристичного характеру (фрагменти упакування, недопалки) на основній території пляжу.



Рис. Г.2 - Резинова сандалія (клас М, ~27 см) на піщаному пляжі - типове туристичне сміття, характерне для рекреаційної зони з високим відвідуванням.



Рис. Г.3 - Полістирольний контейнер для їжі поряд з фрагментами недопалків (клас М); приклад побутово-туристичного сміття центрального пляжу.

Г.2. Ділянка 2 - Vĩnh Lương (рибальсько-аквакультурна зона)



Рис. Г.4 - Загальний вид Ділянки 2 (Vĩnh Lương, район Phạm Văn Đồng): рибальсько-аквакультурна зона з прилеглою житловою забудовою. Незважаючи

на функціональний профіль ділянки, у складі зафіксованого сміття домінує побутова складова (89,1%), що пояснюється близькістю житлових будівель і місцевими практиками управління відходами (див. Рис. Г.7).



Рис. Г.5 - Залишки шкіряної сумки з металевою фурнітурою (клас М, ~30 см); побутове сміття у рибальсько-аквакультурній зоні.



Рис. Г.6 - Шолом мотоциклетний (клас М, ~25 см) - локально-специфічна знахідка, характерна для В'єтнаму, де байки є основним видом транспорту; пряма ілюстрація побутового походження сміття на Ділянці 2.



Рис. Г.7 - Залишки купи спаленого побутового сміття на березі Ділянки 2 (виміряна довжина - близько 1,5 м); виявлено попіл, обугленні фрагменти

органіки і пластику. Фото документує локальну практику неформального спалювання побутових відходів мешканцями прилеглих будівель - це пояснює механізм формування побутового домінування (89,1%) у функціонально рибальській зоні (підрозділ 3.3).



Рис. Г.8 - Полістирольний харчовий контейнер (клас М, ~30 см) серед побутового сміття на Ділянці 2; приклад харчової упаковки, характерної для побутової складової.

Г.3. Ділянка 3 - гирло р. Кай

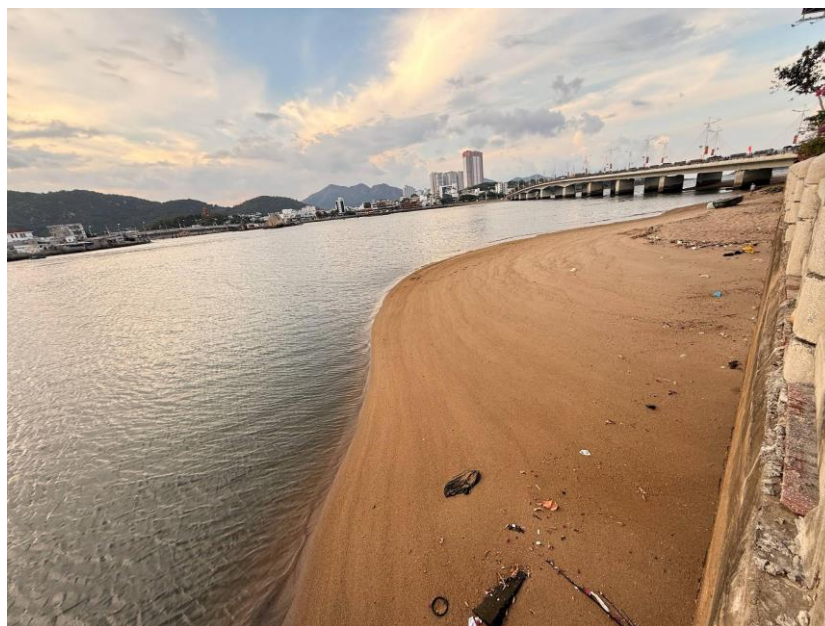


Рис. Г.9 - Загальний вид Ділянки 3 (гирло р. Кай біля мосту Trần Phú): піщана відмілина в безпосередній близькості від місця впадіння річки в затоку

Нячанг. Видимий міський контекст водозбору (висотна забудова на задньому плані) - пряма ілюстрація транзитного шляху побутових відходів від міської території до морського середовища через річкову систему.



Рис. Г.10 - Фрагмент порцелянового посуду з декоративним розписом (клас S, ~8 см); побутове сміття у гирловій зоні, винесене річковим стоком.



Рис. Г.11 - Зім'ятий полістирольний контейнер з фірмовим маркуванням (клас М); зразок упакування харчової продукції побутового походження.



Рис. Г.12 - В'єтнамська банкнота 1000 VND (1988 р.), знайдена у гирловій зоні; характерне свідчення транзитного характеру забруднення з міського водозбору р. Кай через паводковий стік.

Г.4. Ділянка 4 - умовно-контрольна (північна периферія)



Рис. Г.13 - Загальний вид Ділянки 4 (умовно-контрольна, північна периферія міської агломерації): піщана берегова смуга з мінімальним прямим антропогенним навантаженням, обмеженою інфраструктурою та відсутністю регулярного прибирання. Незважаючи на віддалене розташування, ділянка демонструє максимальну концентрацію відходів серед усіх обстежених точок ($1,058 \text{ од./м}^2$) - наслідок гідродинамічної акумуляції плавучого сміття, що документовано на наступних фото.



Рис. Г.14 - Локальне скупчення пластикових пляшок, рибальських мотузок і побутового сміття на Ділянці 4 (виміряна довжина скупчення - близько 1,1 м); пряма ілюстрація механізму гідродинамічної акумуляції плавучих відходів унаслідок переважних південних течій (жовтень-квітень) і відсутності прибирання - підтвердження парадоксу максимальної концентрації на ділянці з мінімальним прямим навантаженням (підрозділ 3.3).



Рис. Г.15 - Кросівок Nike Air



Рис. Г.16 - Складена бамбуково-

Uptempo (клас М, ~26 см); знахідка сітчаста рибальська ловушка (клас L, ~1,2 м) серед побутового сміття; пряме віддаленій ділянці є характерним підтвердження рибальсько-маркером морського дрейфу - взуття з аквакультурного компонента (13,5% за тропосфери Південно-Східної Азії джерелом) на ділянці без прямої регулярно фіксується вздовж узбережжя рибальської активності - свідчення унаслідок течій. морського перенесення з зон активного рибальства.



Рис. Г.17 - Автомобільне колесо (~1 м у діаметрі), що стало природною пасткою для скупчення плавучого сміття - пакетів, тканин, пляшок, фрагментів сітей; ілюстрація вторинного механізму акумуляції - крупні предмети діють як точкові концентратори дрібнішого плавучого сміття (підрозділ 3.3).



Рис. Г.18 - Композиція з чотирьох пар викинутого взуття серед фрагментів зелених рибальських сітей; ілюстрація масштабу акумуляції - серед знайдених на

ділянці предметів зафіксовано близько 30 окремих пар взуття, що свідчить про тривалу акумуляцію плавучого сміття при відсутності регулярного прибирання.

Г.5. Ділянка 5 - Đầm Nha Phu (мангрова зона)



Рис. Г.19 - Загальний вид Ділянки 5 (Đầm Nha Phu, мангровий масив): найбільша мангрова екосистема в районі Нячанга, що функціонує як природна пастка для плавучого сміття - при кожному припливі нові відходи накопичуються між коренями. У віддаленості видно прилеглу житлову забудову та рисові поля, що формують сухопутне джерело будівельних відходів - головну структурну аномалію цієї зони.

Наступні фото є візуальним підтвердженням головної структурної аномалії дослідження - домінування будівельних відходів (53,2% цегли, 63,9% будівельного походження) у мангровому масиві лагуни Đầm Nha Phu. Просторова структура накопичення - компактні куп'ї уздовж урізу води паралельно прилеглій ґрунтовій дорозі - у поєднанні з присутністю важких неплавучих предметів (цегла, автомобільні колеса) однозначно вказує на сухопутне джерело скидання, а не морський дрейф.



Рис. Г.20 - Куп'я будівельних відходів (цегла, бетонні фрагменти) уздовж берегової лінії мангрового масиву Đầm Nha Phu; характерна просторова структура - компактні скупчення вздовж урізу води паралельно прилеглій ґрунтовій дорозі - обґрунтовує гіпотезу про неформальне сухопутне скидання як основне джерело забруднення (підрозділ 3.3).



Рис. Г.21 - Автомобільне колесо (~70 см у діаметрі) у мангровому масиві Đầm Nha Phu (клас L); важкий неплавучий предмет, який фізично не може бути перенесений морськими течіями чи припливною хвилею, є прямим доказом сухопутного скидання з прилеглої території - ключове підтвердження головної гіпотези дослідження.



Рис. Г.22 - Крупний план фрагментів цегляної кладки (клас L) у воді на межі мангрового масиву; видно характерну фракцію цегляної крошки і блочних фрагментів, що відповідає недавньому будівельному скиданню (відсутність значного зносу країв предметів).