

Найважливіші результати досліджень
Державної установи «Інститут морської біології НАН України» у 2024 р.

1. На основі методології цілісної оцінки ієрархічно організованих, динамічних систем запропоновано просту модель морської екосистеми, яка включає три функціональних компонента з підструктурними елементами, які пов'язані між собою потоком речовини і енергії: 1. Абіотичний компонент (1.1. Біотопи, 1.2. Кліматичні фактори); 2. Біотичний компонент (2.1. Продуценти, 2.2. Консументи, 2.3. Редуценти); 3. Антропогенний компонент (3.1. Стресори прямої дії, 3.2. Стресори опосередкованої дії). На основі моделі та відповідної до неї структури індикаторів і баз даних, в яких накопичується первинна регіональна інформація, запропоновано алгоритм рівнянь пов'язаних у 3D просторі, який дозволяє прогнозувати екологічний статус і рівень сервісів локальної морської екосистеми, в залежності від діючих антропогенних стресорів і стану біологічного компоненту.

2. Моделювання розповсюдження консервативної домішки нейтральної плавучості на акваторії ПнЗЧМ, як трасера поширення забруднень, з перехідними водами з Дніпровсько-Бузького лиману показало, що тільки за рахунок гідродинамічного розведення, в перший тиждень після руйнування греблі Каховського водосховища, відбувалося зменшення рівня забруднення вод до 70 % (від рівня забруднення на виході з гирла Дніпра в районі міста Херсон) в Одеському районі ПнЗЧМ і до 20–50 % – в акваторії Дунай-Дністровського межиріччя. Уздовж береговий шлейф забруднених вод з концентраціями умовної домішки 10–20 % досяг пригирлової ділянки річки Дунай. Встановлений факт прискореного переносу домішки уздовж мілководдя північного узбережжя ПнЗЧМ до м. Одеси, в результаті чого в Одеській затоці формується зона з підвищеним рівнем забруднення відносно оточуючих вод, яка зберігається досить тривалий час.

3. Дослідження прибережної зони м. Одеса в 2024 р. показали значну сезонну мінливість концентрації мінеральних і органічних речовин азоту і фосфору, кремнію. Порівняння даних 2024 р. з результатами моніторингу 2009–2010 рр. продемонструвало збільшення діапазону та середніх концентрацій мінеральних речовин азоту (за рахунок збільшення концентрацій азоту амонійного) та органічного фосфору у 3 рази, азоту органічного та фосфору мінерального у 2 рази. Ріст цих показників частково спричинений перерозподілом у 2022 році напрямків скидання комунальних стоків міста Одеси з Хаджибейського лиману до акваторій Чорного моря.

4. Проведено екофакторне моделювання складових морських екосистем для оцінки наслідків, евтрофікації (включно з Каховською екологічною катастрофою) на морські придонні екосистеми Чорного моря. В цілях комплексного розуміння взаємодії алохтонних та автохтонних факторів евтрофікації, були отримані конкретні ділянки морського дна,

вразливі до евтрофікації: – «Вразливі зони – Vulnerable areas» (7996 км² – 25% шельфу ПнЗЧМ); – «Жертовні зони – Sacrificial zones» (1634,2 км² – 5 % шельфу ПнЗЧМ) – найбільш чутливі ділянки до процесів алохтонної евтрофікації. Просторово-часовий наліз алохтонного впливу, в результаті руйнування Каховської ГЕС, продемонстрував, що найбільш тривалої дії та найбільш потужного рівня евтрофікації зазнали саме ділянки, які є найбільшим джерелом вторинно-евтрофікаційних та гіпоксійних процесів.

5. На основі супутникових даних встановлені особливості часово-просторової динаміки концентрації хлорофілу «а», внаслідок аномально-тепліх кліматичних умов (у грудні–травні та вересні–жовтні 2024 року), паводкового режиму річок та кумулятивної дії наслідків екологічної катастрофи Каховської ГЕС. Аномальний ріст концентрацій хлорофілу «а» відбувався з лютого до кінця квітня, що пов'язано з великим річковим стоком (солоність води в прибережній частині Одеського регіону знизилася до 9,12 ‰ у квітні) та аномально теплими погодними умовами. На тлі високих температур води в регіоні у вересні (22–26 °С) також спостерігався аномальний розвиток фітопланктону, площа підвищених концентрацій (більше середньо-багаторічного значення) у жовтні тільки збільшилася, тоді як максимальні значення зменшилися, та статистичний розподіл показника став більш рівномірний.

6. Внаслідок підриву греблі Каховської ГЕС відбулося збагачення забруднюючими речовинами морського середовища хвилеприбійної зони Одеської затоки, зокрема важкими металами, що проявилось у збільшенні їх вмісту у воді, донних відкладах. Концентрації міді у морський воді восени 2022 р. та в 2023 р. перевищували рибогосподарську ГДК в 2 та 3 рази відповідно. Вміст міді в донних відкладах майже не відрізнявся та склав $0,41 \pm 0,1$ мг/кг (2022 р.) та $0,52 \pm 0,1$ мг/кг (2023 р.). Сумарний вміст кадмію у морський воді в жовтні 2022 р. склав $0,021 \pm 0,05$ мг/дм³ та $0,027 \pm 0,08$ мг/дм³ в жовтні 2023 р. Різниця між концентраціями кадмію в донних відкладах була більш значною: $1,03 \pm 0,15$ мг/кг (2022 р.) проти $1,95 \pm 0,4$ мг/кг (2023 р.). Вміст свинцю у морський воді мав стабільно-невеликі показники ($0,038$ мг/дм³ – $0,043$ мг/дм³). Забруднення свинцем донних відкладів було на рівні $0,26 \pm 0,04$ мг/кг у 2022 р. та $0,28 \pm 0,06$ мг/кг у 2023 р. Високі концентрації забруднюючих речовин спричинили стрімке їх накопичення в організмі-біомоніторі бокоплавів *Pontogammarus maeoticus*. Сумарний вміст міді в рачках в 2022 році, склав $5,4 \pm 0,68$ мг/кг. В 2023 році після надходження забруднених прісних вод Каховського водосховища вміст міді в рачках збільшився до $9,25 \pm 1,42$ мг/кг (збільшення на 42 %). Вміст ртуті в рачках у 2023 р. збільшився на 28,8 % порівняно із 2022 р. Найбільше накопичення в рачках на рівні 75,5 % виявлено для свинцю, тоді як для кадмію воно зросло у порівнянні з показниками 2022 року лише на 19 %.

7. Аналіз реакцій різних життєвих форм водної рослинності північно-західної частини Чорного моря на воєнні впливи в період 2022–2024 рр. дозволив розділити їх на дві

категорії: Негативні і Позитивні. Негативні реакції автотрофних угруповань пелагіалі і бенталі, пов'язані з прямим впливом активних бойових дій: розлив нафтопродуктів, потрапляння забруднюючих речовин, порушення біотопів, комплекс дій після пожеж та руйнування гребель водосховищ та ін. Позитивні реакції водної рослинності пов'язані зі зниженням практично всіх видів антропогенних навантажень. З використанням індикатора Індекс поверхні (SI) для угруповань фітобентосу, розрахована динаміка цього показника для років воєнного періоду. Найменші значення у порівнянні з останнім десятиріччям зафіксовані для 2022 р. (SI – 12,01 од.) та 2023 р. (SI – 18,02 од.). У 2024 році цей морфофункціональний індикатор повернувся практично до середньо-регіонального значення останнього десятиріччя (SI – 29,6 од.).

8. Каховська трагедія викликала вибуховий ріст фітопланктону з піком розвитку синьо-зелених та діатомових водоростей. Чисельність синьо-зелених *Aphanizomenon flosaquae* Ralfs ex Bornet & Flahault зросла до 2000 разів, *Jaaginema kisselevii* (Anisimova) Anagnostidis & Komárek – до 70 разів порівняно з середніми регіональними значеннями. Чисельність діатомових *Skeletonema costatum* (Greville) Cleve збільшилась у 80, *Cylindrotheca closterium* (Ehrenberg) Reimann & J.C.Lewin – в 50 разів. У 2024 році, через рік після каховської катастрофи, встановлено, що угруповання прибережного фітопланктону відновилося на рівні регіональних значень. Водночас, у вересні 2024 р. відбувалось «цвітіння» дінофітової *Lingulodinium polyedra* (F.Stein) J.D.Dodge 1989 з максимальною чисельністю $7,035 \cdot 10^6$ кл.·л⁻¹ і біомасою 202,198 г·м⁻³, що може бути довготривалим наслідком каховської катастрофи. Даний вид фотосинтетичних *динофлагелят* може продукувати паралітичні токсини (йессотокини та іхтіотоксини). Методом біотестування було проведено вимірювання інтегральних токсичних властивостей вторинних метаболітів та токсинів екстракту мікрowodоростей, яке показало відсутність гострої летальної токсичності вторинних метаболітів та токсинів штаму *L. polyedra* в вересні 2024 року. Це підтвердило результати досліджень проведених в інших морях, згідно яких утворення токсичних для гідробіонтів токсинів не є універсальною характеристикою *L. polyedra*.

9. В 2024 році, через рік після Каховської трагедії, структура зоопланктону досліджуваних ділянок ПнЗЧМ повернулася до багаторічних середніх значень як за чисельністю, так і за біомасою. Загалом структура зоопланктону та домінування окремих видів є індикатором стану водних екосистем. Так сучасні значення чисельності та біомаси *Cladocera* у ПнЗЧМ майже вдвічі менші, ніж в період антропогенного евтрофування, та перевищують значення в період екологічної норми. Це можна пояснити тим фактом, що *P. polyphemoides*, який домінував у період антропогенного евтрофування, належить до короткоциклічних бета-мезо-сапробних організмів, які набувають значного розвитку в

евтрофних умовах. На сучасному етапі розвитку екосистеми його чисельність та біомаса є меншими, ніж у *P. avirostris*.

10. Каховська трагедія значно вплинула на структуру донних угруповань. Так виживаність мідій в поселеннях після руйнування Каховської греблі в перші місяці суттєво знизилася, а в окремі періоди (15.07.2023 р.) не перевищувала 15,7 %. В травні 2024 р., рік після трагедії, виживаність в середньому по глибинах 1–5 м складає $43,9 \pm 1,5$ %, однак вона так і не відновилася до свого середньорічного рівня для даного морського району, який становить $55,3 \pm 1,72$ %.

11. Виявлена ендемічність супраліторальних та літоральних видів Чорного моря викликає необхідність переоцінки природоохоронного статусу за критеріями Міжнародного союзу охорони природи (МСОП). Зокрема, для двох видів, для яких шляхом молекулярних досліджень була доведена їх ендемічність, виявлені високі ризики зникнення на глобальному (світовому) рівні, у зв'язку з обмеженим та фрагментованим ареалу і поступовим погіршенням якості оселищ. В рамках оцінки встановлено, що супраліторальна ізопода *Tylos ponticus* знаходиться в загрозовому стані (EN B2b (ii, iii)), а літоральний молюск *Lepidochitona biondarevi* у вразливому стані (VU B2b (ii, iii)). Ці дані свідчать про необхідність подальших генетичних досліджень та тотальної переоцінки категорій МСОП для чорноморських супраліторальних та літоральних видів, доповнення Червоної книги України та коригування Смарагдової мережі та мережі морських природоохоронних територій.

12. В умовах воєнних дій та пов'язаних з ними зниженні інтенсивності досліджень особливим ризиком стають приховані інвазії видів, ідентифікація яких традиційними методами ускладнена або неможлива. Проведення молекулярних досліджень дозволило виявити такі нові чужорідні види для Чорного моря (*Austrominius modestus*, *Chamaesipho columna*, *Balanus trigonus*, *Semibalanus balanoides*) та його північно-західної частини (*Monocorophium insidiosum*, *Palaemon macrodactylus*). Протягом 2024 р. було відмічене укорінення та розширення ареалу популяцій в ПнЗЧМ ряду чужорідних видів: молюсків *Arcuatula senhousia* та *Ercolania viridis*, актинія *Nematostella vectensis*. Морський краб *Rhithropanopeus harrisii* сформував масову популяцію та став домінуючим видом в прісноводному Кучурганському лимані. Розроблена методологія оцінки ризику для створення переліку інвазійних видів морських екосистем України, що увійшла до Методичних рекомендацій щодо оцінки наявного і потенційного впливу (ризиків) інвазійних чужорідних видів, затверджених наказом Міндовкілля № 290 від 15.03.2024.

13. В результаті проведених досліджень і моделювання було визначено сім основних глобальних центрів потенційного поширення інвазивного виду річкової креветки японської (*Macrobrachium nipponense*). Територія Східної Європи була визначена як

особливо придатна для поширення цього виду. У контексті зміни клімату до 2050 року країни Балтії можна вважати найбільш перспективними для розширення ареалу *M. nipponense*, який, як очікується, збільшиться в 1,6 рази. Це підкреслює потенційні ризики для навколишнього середовища, пов'язані з впровадженням таких нових інвазивних видів в екосистеми Північної Європи. Південь України є шлюзом для проникнення інвазивних чужорідних видів до Європи та їх подальшого поширення Південноєвропейським коридором інвазії.

14. Динаміка рибопродуктивності чорноморських екосистем демонструє значні стрибкоподібні коливання внаслідок вселення та спалаху розвитку окремих інвазійних видів. За останні десятиліття було відзначено два випадки екстраординарного впливу інвазійних видів на енергетичний баланс та продуктивність компонентів екосистеми ПнЗЧМ. Це вселення мнеміопсису *Mnemiopsis leidyi* в Чорне море наприкінці 1980-х рр., яке призвело до зниження уловів головного чорноморського промислового об'єкту – хамси *Engraulis encrasicolus* з 465 тис. т у 1988 р. до 85 тис. т у 1990 р. (зниження більше ніж у 5 разів). Також зареєстрований спалах розвитку рапани *Rapana venosa*, яка з 2015 р. стала домінантом в уловах водних біоресурсів у ПнЗЧМ. Вилов рапани у цій частині моря зріс із 6 тонн у 2009 р. до 11200 тонн у 2019 р. (у 1867 разів!). При цьому роль всіх інших промислових об'єктів помітно знизилася. Подібні зміни простежуються в останні 4 роки і в акваторіях Дунаю, де реєструється збільшення чисельності вселенця річкової креветки японської *Macrobrachium nipponense* та ріст її неофіційних уловів, які в 2024 році за експертною оцінкою становлять більше 20 тонн в рік. Швидка зміна трофічних зв'язків, спричинена вселенням чужорідних еврибіонтних видів, які активно використовують вразливі та трансформовані чорноморські екосистеми, призводить до найбільших екологічних втрат та економічних збитків.

15. В результаті дослідження структури водоростевих угруповань на поверхні пластикових конструкцій, що експонувалися в районі острову Зміїний (2018–2020 рр.), виявлено 79 видів діатомових водоростей, які є основним компонентом біоплівки. З них зареєстровано 9 видів, що є регіонально рідкісними, та 1 нову різновидність для Чорного моря. Відмічено, що 50 видів водоростей з 31 роду не відмічались в фітопланктоні чи мікрофітобентосі в попередніх дослідженнях, що демонструє здатність пластику виступати в ролі пастки для видів з різними екологічними перевагами. Діатомові водорості створюють сприятливі умови для подальшої колонізації зооугруповань та тим самим затримують розпад морського сміття на мікро- та нанопластик. Разом з цим, процеси біодеградації пластику під впливом ензимів альгобактеріальної плівки залишаються невизначеними та потребують подальших досліджень.

16. Аналіз закономірностей формування угруповань нематод в умовах катастрофічних перебудов в акваторії Одеської затоки у 2023 році виявив їх реакції, які

проявляються у високій чисельності всіх її представників (689664–945000 екз·м⁻²). Крім того, спостерігалась перебудова угруповання, а саме змінювалася його трофічна структура та проявлялось домінування певних екологічних груп, що служать індикаторами змін в прибережних бентосних екосистемах. Виявлений високий вміст с-p1 і с-p2 (г-стратегів) (76 %) на досліджених мисах у 2023 р., що вказує на нестабільне середовище для існування нематод на твердому субстраті траверсів. За класифікацію екологічної якості (ЕсоQ), що базується на співвідношенні трофічних груп нематод с-p1 і с-p2, досліджувана акваторія потрапляє у статус бідне «Poor» (порогові значення 60–80%).

17. Мікропластик, що реєструється в поверхневих водах окремих районів північно-західної частини Чорного моря, є потенційним викликом для планктонних організмів включаючи й іхтіопланктон. Згідно досліджень 2020–2021 рр. прибережна зона поблизу м. Одеса була найбільш забрудненою мікропластиком в період серпня–жовтня, коли личинки багатьох пелагічних видів риб переходять на активне живлення та можуть навмисно чи випадково проковтувати частинки мікропластику разом з їжею. За умови воєнних дій та зменшення антропогенного навантаження на прибережні акваторії моря рівень мікропластику в 2024 році порівняно з даними попередніх років знаходився на значно нижчому рівні (100 ± 21 частинка·м³) в порівнянні з 2021 роком ($250,05 \pm 79,24$ частинок·м³).