

## **Найважливіші результати досліджень наукових ДУ «Інститут морської біології НАН України» у 2023 році**

1. Комплексний аналіз реакцій різних життєвих форм гідробіонтів на наслідки руйнування греблі Каховської ГЕС 6 червня 2023 року дозволив зробити висновок, що «вибухова» фаза впливу на морську екосистему закінчилась до кінця серпня поточного року. Моніторинг гідрологічних показників, а також індикаторів цвітіння фітопланктону показав, що приблизно через три місяці вони повернулись до середньо регіонального рівня. У «вибуховій» фазі було виділено чотири етапи проходження Каховської екологічної катастрофи у морському середовищі: 10-20 червня – гідро-фізичний залповий вплив; 21 червня – 10 липня – вибухова реакція біоти; 11 липня – 10 серпня – високий рівень продукційно-деструкційних та асиміляційних процесів; 11-31 серпня – повернення гідрологічних і біологічних індикаторів до регіонального рівня.

2. Встановлена різна періодичність хвилеподібної реакції розвитку коротко циклічної (фітопланктон) і довго циклічної (фітобентос) рослинності північно-західної частини Чорного моря на вибухове потрапляння до морського середовища необмежених об'ємів розчиненої мінеральної та органічної речовини внаслідок Каховської екологічної катастрофи 6 червня 2023 року. Півперіод хвилі розвитку фітопланктону в безлімітних умовах наявності споживчих речовин становить 3 тижні, аналогічний показник для фітобентосу – 5 тижнів. Пік амплітуди цвітіння фітопланктону за рахунок світлового екранування є тригером початку пригнічення фітобентосу. Максимальна амплітуда хвилі розвитку фітопланктону, у зв'язку з руйнуванням греблі Каховської ГЕС, припала на кінець червня. Мінімальна амплітуда пригнічення розвитку фітобентосу припала на кінець липня. Отримана модель співвідносної хвилеподібної реакції планктонних і бентосних автотрофних угруповань дає можливість прогнозу реакцій одноклітинних і багатоклітинних водоростей на екологічні катастрофи, які пов'язані з потраплянням до північно-західної частини Чорного моря аномальних об'ємів споживчих речовин з причин техногенних катастроф чи кліматичних аномалій.

3. Проведено екофакторне моделювання складових морських екосистем для оцінки наслідків евтрофікації в українському секторі Чорного моря. Розроблена топологічна класифікація форм морського дна та виділено 12 типів (донних тіл – урочищ). Багатофакторне геоінформаційне моделювання морських придонних фацій та субаквальних ландшафтів дозволило виділити зони з підвищеним ризиком наслідків впливу процесів

евтрофікації – 9,27 % морського дна від загальної площі північно-західної частини Чорного моря, натомість найбільш стійкі ділянки морського дна складають 24,93 %. До найбільш вразливих екосистем потрапили ділянки палео-долини Дніпра, з складною вертикальною структурою екофакторів, більш стійкі – підводні височини (водороздільні простори палеорічок), тераси, банки, мілини, які мають екопозитивні ознаки.

4. Показано, що річний обсяг стоку р. Дунай істотно впливає на структурно-функціональну організацію автотрофного компонента транзитної зони річка – Чорне море. У багатководні роки, при підвищенні проточності, перевагу розвитку набувають сенситивні види макрофітів, з низькою функціональною активністю та невисокими значеннями питомої поверхні (S/W) (види представників відділів *Rhodophyta* та *Chlorophyta*). У маловодні роки, при зниженні проточності, перевагу розвитку набувають толерантні види – одноклітинні водорості з високою функціональною активністю та невисокими значеннями питомої поверхні (S/W) (види представників відділу *Cyanophyta* та колоніальні форми відділу *Ochrophyta*). Виявлено прогностичну закономірність, що зв'язує річний обсяг стоку р. Дунай з категоріями екологічного статусу класу (ESC), які можна оцінити на підставі значення морфофункціонального індикатора – індекс поверхні (SI) фітоперифітону.

5. Каховська катастрофа призвела до втрати великих об'ємів біоресурсів в прилеглий морській екосистемі. В зоні впливу винесених мас води, в умовах катастрофічних змін солоності та температури, відбулася масова загибель мідій (*Mytilus galloprovincialis* Lamarck, 1819) в діапазоні глибини 1-3 м (до 1100 екз. $\cdot$ м<sup>-2</sup> загиблих особин біомасою 4089,5 $\pm$ 973,7 г $\cdot$ м<sup>-2</sup>). Загальна чисельність загиблої популяції мідії склала близько 104,94 млн особин, а загальна біомаса – 3680,1 т, що до відповідних нормативних документів України, дорівнює загальній сумі збитків близько 356,796 млн грн. При цьому спостерігалось підвищення чисельності *Mytilaster lineatus* (від 72952 $\pm$ 26814 екз. $\cdot$ м<sup>-2</sup> до 132616 $\pm$ 30552 екз. $\cdot$ м<sup>-2</sup>) – конкуруючого виду з меншим потенціалом екосистемних послуг та цінності як біоресурсу. Сильна течія після прориву греблі призвела до виносу в море разом з дніпровською водою прісноводних риб, включно з промисловими видами (зокрема, гібриди товстолобика, *Hypophthalmichthys sp.*, плітка *Rutilus rutilus*, карась сріблястий *Carassius gibelio*, короп *Cyprinus carpio*, сонячний окунь *Lepomis gibbosus*, судак *Sander lucioperca*), які внаслідок цього померли у солоній воді або були викинуті на берег.

6. Внаслідок Каховської катастрофи до екосистеми Одеської затоки надійшла така кількість забруднюючих речовин, яка була здатна чинити гостру токсичну дію, що могло підсилуватись продукуванням токсинів та вторинних метаболітів мікроводоростей, токсичні

властивості яких були доведені під час експериментальних досліджень. Гостра летальна токсичність була відмічена у пробах морської води, відібраних 11-13 червня 2023 р., що є першим випадком для Одеської затоки у XXI ст. Зафіксоване зниження солоності поверхневого шару морської води до 4 ‰ (в 3 рази менше значень ГДК) та концентрації азоту-амонійного з підвищенням ГДК у 1,2-2,6 разів.

7. Під час воєнних дій в північно-західній частині Чорного моря, лиманах та великих річках спостерігається підвищення біологічного забруднення. Протягом 2023 року було відмічене вселення низки нових видів для басейну Чорного моря: морського окуня *Sebastes schlegelii*, скельного морського жолудя *Semibalanus balanoides* та карликового річкового рака *Cambarellus sp.* Зафіксовано укорінення або розширення ареалу популяцій чужорідних видів, що сформувалося упродовж декількох попередніх років: молюски *Arcuatula senhousia* та *Menetus dilatatus*, актинія *Nematostella vectensis*, креветка *Macrobrachium nipponense*, поліхета *Streblospio gynobranchiata*. Значне підвищення біологічного забруднення спостерігається в прісноводних та перехідних екосистемах дельти Дунаю, де чужорідні види можуть досягати 50 % частки таксонів та 12,9 % чисельності від усіх донних макробезхребетних. Різноманіття векторів інвазій свідчить про вплив на цей процес як масштабних змін режиму судноплавства в Чорному морі та Нижньому Дунаї, так і загального послаблення контролю в сферах, пов'язаних з використанням живих організмів, таких як акваріумістика, аквакультура, торгівля живими морепродуктами тощо.

8. Для багатьох складових в зоні впливу Каховської катастрофи спостерігались аномальні відхилення показників від середньо регіональних значень для відповідного літнього періоду. Відмічене збільшення біомаси макрофітобентосу (більш ніж 80 % аномалії); мікроепіфітону (50 %); чисельності (300 %) та біомаси (1220 %) гетеротрофних флагелат; чисельності (450 %) та біомаси (817 %) зоопланктону. Для зообентосу відмічена перебудова трофічної структури угруповань: значне підвищення чисельності детритофагів та рослинно-детритоїдних видів макрозообентосу (660 % та 1400 % відповідно), переважання невиборних детритофагів та високий відсоток домінування нематод і олігохет у мейобентосі. Для фітопланктону спостерігалися послідовні піки цвітіння діатомових водоростей та ціанопрокаріот з зростанням чисельності окремих видів до 2000 разів (*Aphanizomenon flosaquae*). Для багатьох груп відмічені зміни таксономічного складу за рахунок винесених в море прісноводних видів.

9. Встановлено, що рівень розвитку фітопланктону у водоймах пониззя Дніпра залежить від зовнішнього водообміну з основним руслом річки і антропогенного

навантаження. Для водойм з добрим водообміном (2–4 доби) у фітопланктоні характерне домінування діатомових водоростей. Уповільнений водообмін (10–20 діб) і антропогенне навантаження сприяють евтрофікації водойм, що в літній період призводить до «цвітіння» води за рахунок масового розвитку ціанопрокаріот. Підрив греблі Каховської ГЕС призвів до захаращення і замулення проток, які з'єднують водойми пониззя річки з русловою мережею Дніпра, що формує ризики застійних явищ та спалахів розвитку синьо-зеленої та евгленової флори, особливо в теплий період року.

10. На підставі аналізу макрзообентосу контурного біотопу псамоконтур в оселищі інфраліторального піску та мулистого піску (MB542 за європейською класифікацією оселищ EUNIS) на полігоні Одеського морського регіону виділено три угруповання: I на глибині  $3 \pm 0,2$  м з домінуванням дрібних детритофагів (*Spio filicornis*, *Alitta succinea*, *Polydora cornuta*, *Capitella capitata*); II на глибині  $9,2 \pm 0,2$  м з домінуванням мітілід (*Mytilaster lineatus*, *Mytilus galloprovincialis*); III на глибині  $5,1 \pm 0,3$  м з домінуванням *Chamelea gallina*, *Cerastoderma glaucum*, *Lentidium mediterraneum*.

11. В результаті вперше розпочатих молекулярних досліджень супраліторальних макробезхребетних Чорного моря виявлені 6 нових для науки BIN (таксони, що виділяються за допомогою молекулярно-генетичних алгоритмів) для видів, які визначались для Чорного моря як: *Namanereis pontica*, *Ligia italica*, *Tylos ponticus*, *Orchestia cf. gammarellus*, *O. montagui*. Дослідження, що охоплюють ракоподібних, молюсків, кільчастих червів та комах, показують широке поширення серед них ендемічних клад та видів, ізольованих від середземноморської фауни. Азово-Чорноморський регіон встановлено як донор інвазії супраліторального *Cryptorchestia cf. ciscaucasica*, що активно колонізує прісноводні екосистеми Європи. Таким чином, виявлене нове джерело формування ендемізму біоти Азово-Чорноморського басейну.

12. Вперше у регіоні (оз. Картал) проведена інтегральна оцінка біологічного різноманіття шляхом комбінації методів іхтіологічних зйомок стандартними знаряддями лову та аналізу ДНК проб води (e-DNA) за методикою NatureMetrics. Показана висока подібність результатів для іхтіофауни в досліджуваній водоймі для e-DNA в порівнянні з уловами різновічкових сіток. При цьому паралельні дослідження стандартними знаряддями лову дозволяють відібрати більшу кількість видів, але їх використання в сучасних умовах є більш складним та проблематичним. З іншого боку, методи e-DNA дозволили з високою ймовірністю встановлювати видовий склад риб та ідентифікувати низку таксонів, що були раніше визначені тільки на родовому рівні.

13. Проведені експерименти щодо визначення солоносної толерантності та чутливості видів-вселенців до токсикантів на тлі мінливості гідрохімічних параметрів води. Виявлено, що зростання солоності/мінералізації води призводить до зниження чутливості моллюсків до гострої дії солей важких металів. В результаті порівняння токсикорезистентності популяції водних безхребетних, виділених з різних водойм Азово-Чорноморського регіону, доведена суттєва різниця фізіологічної чутливості до гострої токсичної дії токсикантів. З'ясовано, що для річкової креветки японської *Macrobrachium nipponense* спостерігається поступова загибель усіх зоеа в прісній воді в штучних умовах існування, а її розмноження можливе в солонуватоводних водоймах із солоністю до 10 ‰ включно.

14. Доказане існування високопродуктивної популяції річкової креветки японської *Macrobrachium nipponense* у водоймах України з середніми показниками розмірів, що перевищують характерні для природного ареалу. Великі розміри та чисельність популяції креветок на Дунаї забезпечує перспективи промислового лову креветки в цьому регіоні в зв'язку з чим оцінена ефективність та особливості використання знарядь промислового лову: сачків з вічком 10 мм та ятера з вічком 5-6 мм. Дельтові зони Дунаю і Дністра (включно із Дністровським лиманом), а також Джантшейський лиман, верхів'я Сухого і Великого Аджалицького лиманів визначені як перспективні також для утримання цього виду в аквакультури.

15. В умовах багаторічного штучного регулювання водообміну Тилігульського лиману з прилеглою морською акваторією, коливань солоності внаслідок випаровування, заморних явищ тощо, спостерігається значна перебудова таксономічної структури та кількісних показників біоти. Спостерігається збіднення видового складу макрзообентосу (в три рази у порівнянні з кінцем ХХ ст.), зникнення домінуючих раніше видів фітопланктону, пригнічення діатомових водоростей та розвиток і навіть випадки «цвітіння» динофлагелят, значні коливання кількісних показників мезозоопланктону в межах 100-500 мг м<sup>-3</sup> (більш високі показники ніж до подачі морської води через побудований канал), значну варіабельність чисельності гетеротрофних фосфатмобілізувальних бактерій.

16. З використанням моделі у варіанті DYNAMO проведені числові експерименти з моделювання річної динаміки біомаси різних угруповань фітопланктону в прибережній зоні Одеського узбережжя в залежності від характерної для різних років річної мінливості абіотичних чинників. Проведені числові експерименти моделі з метою визначення її чутливості – реакції динаміки хіміко-біологічних змінних моделі на різний набір збудуючих зовнішніх чинників (температури води, вмісту завислих речовин – прозорості, потоку

фотосинтетично активної та ін.). Із використанням моделі виконано моделювання динаміки угруповань фітопланктону за умов різних років (2010, 2016).

17. Визначені аномальні відхилення у річному ході температури поверхневого шару води в авандельті р. Дунай та Дніпро-Бузькому лимані у 2023 році. Аналіз аномалій показав значну залежність величин відхилення температури від сезону. Найбільші негативні аномалії (до -28 % в авандельті р. Дунай та до -18 % у Дніпро-Бузькому лимані) зафіксовані у холодний період року. Найменші позитивні аномалії (до +1,2 % в авандельті р. Дунай та до +0,9 % у Дніпро-Бузькому лимані) у теплий період. За даними значень місячного стоку р. Дунай (січень-серпень включно), 2023 рік визначений як середньо водний.

18. Багаторічна оцінка мінливості абіотичних показників морського середовища, які впливають на інтенсивність функціонування автотрофної ланки морської екосистеми, а також визначають екологічний статус північно-західної частини Чорного моря, свідчать, що для 2023 року була характерна річна позитивна аномалія +14 % для температури морської води, негативна аномалія – 11 % для солоності та позитивна аномалія +5 % для витрат річного стоку Дунаю, який в значній мірі впливає на гідроекологічний стан північно-західної частини Чорного моря.