

УДК 504.45.058; 504.4.054; 504.064; 574.587(26): 574.64

КП 87.19.03

№ держреєстрації 0122U201787

Інв. №

МІНІСТЕРСТВО ЗАХИСТУ ДОВКІЛЛЯ ТА ПРИРОДНИХ РЕСУРСІВ УКРАЇНИ
НДУ “УКРАЇНСЬКИЙ НАУКОВИЙ ЦЕНТР ЕКОЛОГІЇ МОРЯ” (УкрНЦЕМ)

65009, м.Одеса-9, Французький бульвар, 89; тел.: (094) 9468721

e-mail: accem@te.net.ua, www.sea.gov.ua

ЗАТВЕРДЖУЮ

Виконуючий обов'язки директора
УкрНЦЕМ, заступник директора з науки,
канд. геогр. наук, старш. наук. співроб.

Віктор КОМОРИН

2025 р.



ЗВІТ ПРО НАУКОВО-ДОСЛІДНУ РОБОТУ

Оцінка та діагноз стану морського середовища України в межах виключної
морської економічної зони та уточнення критеріїв оцінки доброго екологічного
стану морських регіонів у 2024 році

ОЦІНКА ТА ДІАГНОЗ ЯКОСТІ МОРСЬКОГО ДОВКІЛЛЯ МЕТОДАМИ БІОТЕСТУВАННЯ ТА БІОІНДИКАЦІЇ

Том 4

Науковий керівник НДР:

Виконуючий обов'язки директора УкрНЦЕМ,
заступник директора з науки,
канд. геогр. наук, старш. наук. співроб.

В. М. Коморін

2024

Рукопис закінчено 26 грудня 2024 р.

Результати роботи розглянуто Вченою Радою УкрНЦЕМ, протокол
від 27 12 2024 р. № 9

СПИСОК АВТОРІВ

Відповідальні виконавці:

Завідувачка сектору

біологічних методів

оцінки якості морських вод


26.12.2024

Л. Л. Красота

(вступ;

розділи 1, 2, 3, 4;

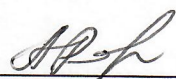
висновки;

додаток Б)

Наук. співроб.

сектору біологічних методів

оцінки якості морських вод


26.12.2024

О. В. Рачинська

(розділи 1, 2, 5;

висновки;

додаток А)

РЕФЕРАТ

Звіт про НДР: 109 стор., 27 табл., 17 рис., 2 додатки, 77 джерел.

ЧОРНЕ МОРЕ, ЕКОЛОГІЧНИЙ СТАН, ОЦІНКА ТА ДІАГНОЗ, БІОТЕСТУВАННЯ, БІОІНДИКАЦІЯ, ГІДРОБІОТИ РІЗНИХ СИСТЕМАТИЧНИХ РІВНІВ.

Об'єкт дослідження – прибережні акваторії Чорного моря (ЧМ), різні за рівнем та характером антропогенного навантаження.

Мета роботи – оцінка та діагноз стану чорноморського довкілля в межах територіальних вод і виключної морської економічної зони України у 2024 році і визначення відповідності характеристик стану середовища морських водних масивів критеріям ДЕС (Доброму екологічному стану) відповідно дескрипторам Рамкової Директиви про Морську Стратегію ЄС (РДМС) на підставі даних державного моніторингу морських вод, з урахуванням впливу воєнних дій на морське середовище.

Головні завдання науково-дослідної роботи впродовж 2024 року:

- здійснити оцінку та діагноз якості чорноморського довкілля методами біотестування і біоіндикації, уточнення критеріїв оцінки й визначення ДЕС за показниками розвитку різних за чутливістю тест-об'єктів та організмів-моніторів;
- провести ретроспективну оцінку змін екологічного стану середовища різних за антропогенним навантаженням досліджуваних чорноморських акваторій порівняно з результатами оцінки якості довкілля північно-західної частини ЧМ (ПЗЧМ), отриманими під час біологічного моніторингу в 2010-2023 роках.

Звіт з оцінкою та діагнозом екологічного стану прибережного довкілля ПЗЧМ за методами біотестування та біоіндикації (з використанням гідробіонтів різних систематичних рівнів) містить порівняльні оцінки якості довкілля чорноморських акваторій за результатами досліджень 2024 року та у ретроспективному огляді змін стану морського довкілля, що є інформаційними для прийняття управлінських рішень, екологічної освіти населення, тощо.

ЗМІСТ

	С.
Скорочення та умовні позначки.....	5
Вступ.....	6
1 Оцінка якості морського довкілля методами біотестування та біоіндикації...	7
2 Матеріал і методи досліджень якості морського середовища.....	9
3 Біотестування якості вод Чорного моря за показниками розвитку личинок мідій.....	14
4 Біотестування якості довкілля Чорного моря за показниками стану дорослих мідій.....	21
4.1 Оцінка якості морського середовища за показником стабільності лізосомальних мембран клітин гемолімфи мідій.....	22
4.2 Оцінка якості морських вод за показником інтенсивності фільтрації води мідіями.....	24
4.3 Оцінка якості морського довкілля за показником інтенсивності дихання мідій.....	27
5 Біоіндикація якості довкілля Чорного моря за показниками стану мікрофітобентосу.....	32
5.1 Оцінка якості морського середовища за показниками розвитку бентосних мікрофітів	33
5.2 Оцінка екологічного стану довкілля у водному масиві CW5 за трофністю та сапробністю донних мікроводоростей.....	46
5.3 Ретроспективна оцінка якості довкілля прибережжя ПЗЧМ за станом мікрофітобентосу.....	50
Висновки.....	76
Перелік джерел посилання.....	80
Додаток А Таксономічний склад мікрофітобентосу водного масиву CW5 Чорного моря у 2024 році.....	90
Додаток Б Список публікацій по темі даної науково-дослідної роботи.....	109

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ

ДЕС – Добрий екологічний стан

КМУ – Кабінет Міністрів України

НДР – науково-дослідна робота

ПЗЧМ – північно-західна частини Чорного моря

РДМС – Рамкова Директива про Морську Стратегію ЄС (Marine Strategy Framework Directive)

УкрНЦЕМ – Український науковий центр екології моря

ЧМ – Чорне море

CW – прибережні води (coastal waters)

ShW – шельфові води (shelf waters)

WFD – Водна Рамкова Директива (Water Framework Directive)

ВСТУП

Підставами для виконання даної науково-дослідної роботи (НДР) були:

- Статут Українського наукового центру екології моря (УкрНЦЕМ);
- Бюджетний запит УкрНЦЕМ на 2024 рік;
- План науково-дослідних робіт УкрНЦЕМ на 2022-2024 роки;
- Наказ Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України про затвердження «Програми державного моніторингу вод (у частині діагностичного моніторингу прибережних і морських вод Чорного та Азовського морів) на період до 2026 року» [1];
- Розпорядження Кабінету Міністрів України (КМУ) «Про схвалення Морської природоохоронної стратегії України» [2];
- Постанова КМУ «Про затвердження положення про Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України» [3];
- Закон України «Про Основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2030 року» [4];
- Постанова КМУ «Про виконання Угоди про асоціацію між Україною, з однієї сторони, та Європейським Союзом, Європейським співтовариством з атомної енергії і їхніми державами-членами, з іншої сторони» [5];
- Постанова КМУ «Про затвердження Морської доктрини України на період до 2035 року» [6];
- Стратегічний план дій щодо захисту навколишнього середовища та відновлення Чорного моря (2009) [7];
- Рамкова Директива про Морську Стратегію ЄС [8].

Одна з вимог цих документів – використання у морському моніторингу біологічних показників. Забруднення водного довкілля оцінюють тріадою методів: біотестування, аналітичної хімії та біоіндикації [9]. Біологічні методи досліджень інтегральніші і дешевші за хімічні. Біотестування та біоіндикація якості морського довкілля в цій роботі здійснені за показниками стану бентосних організмів.

1 ОЦІНКА ЯКОСТІ МОРСЬКОГО ДОВКІЛЛЯ МЕТОДАМИ БІОТЕСТУВАННЯ ТА БІОІНДИКАЦІЇ

Своєрідним віддзеркаленням екологічного стану водного середовища є стан «здоров'я» організмів, що в ньому мешкають [9]-[11]. Оцінка відгуку гідробіонтів на дію морського довкілля, яке містить біодоступні політанти, дає інформацію, котру неможливо отримати під час аналізів вмісту токсикантів в середовищі або в водних організмах. Прямі і непрямі взаємодії забруднювачів та їх метаболітів у водному довкіллі і організмі, синергічні та антагоністичні дії токсикантів знаходять своє відображення у реакціях гідробіонтів – тест-об'єктів та організмів-моніторів [9]-[13].

Біотестування та біоіндикація – сучасні інтегральні способи з оцінки якості морського довкілля. Вони дозволяють досліджувати ряд істотних чинників: наявність у воді токсичних речовин, які неможливо виявити без проведення дорогих хімічних аналізів, а також всілякі варіанти взаємодії хімічних речовин з досліджуваними біологічними об'єктами.

За допомогою тест-об'єктів – живих «датчиків», що сигналізують про небезпеку в досліджуваному довкіллі, визначається токсичність морського середовища. Тест-організмами можуть бути водорості, ракоподібні, молюски, риби та інші організми [9]-[11].

Прикріплені бентосні водорості, двостулкові молюски і інші донні гідробіонти, які не можуть залишити місце свого мешкання, дуже зручні, як організми-монітори. Вони в повній мірі відчувають вплив довкілля і за певними показниками (фізіолого-морфологічними, систематичними, кількісними, галобіонтними, сапробіологічними, тощо) надають певну інформацію про якість оточуючого середовища.

Чорноморська мідія (*Mytilus galloprovincialis* Lamarck), як організм-біофільтратор, що веде осілий спосіб життя, дуже підходить до використання для

оцінки якості морського середовища, як у якості організма-індикатора, так і тест-об'єкта [10], [13]-[14].

На клітинному рівні практично універсальним маркером стресу є руйнування мембран лізосом клітин гемолімфи молюсків, тобто стабільність лізосомальних мембран є інформативним показником стану «здоров'я» мідій.

На організмовому рівні реакції мідій на зміни якості навколишнього середовища відображають основні характеристики їхнього обміну речовин: показники інтенсивності дихання і фільтрації цих двостулкових.

Показники морфогенезу личинок мідій (на перших двох стадіях розвитку) у чистій чи забрудненій (у різному ступені) воді – значно більш чутливі для оцінки стану морського довкілля, ніж фізіолого-морфологічні характеристики стану цих дорослих мітілід.

Використання чорноморських мідій на різних стадіях їхнього розвитку дозволяє виявити як незначні, так і суттєві зміни екологічного стану досліджуваного середовища.

Біоіндикацію якості морського середовища на популяційному (біоценотичному) рівні виконують на основі характеристик видового розмаїття, показників кількісного розвитку індикаторних гідробіонтів та їх угруповань, екологічної різноманітності організмів-моніторів (з урахуванням їхніх життєвих форм, галобіонтного та сапробіонтного складів, наявності та кількості морфологічних аномалій особин) [13], [15]-[19].

Важливе місце серед спільнот організмів-моніторів посідають широко розповсюджені та чутливі до змін факторів довкілля водорості мікрофітобентосу, які інтенсивно розвиваються на природних і штучних субстратах впродовж року і чітко відображують екологічний стан морського середовища під час його біоіндикації [20]-[23].

2 МАТЕРІАЛ І МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ ЯКОСТІ МОРСЬКОГО СЕРЕДОВИЩА

У весняний, літній та осінній періоди 2024 року у Дністровському районі (ShW2) ПЗЧМ (рис. 1) з прибережжя Одеського регіону (у водному масиві CW5) для оцінки та діагнозу якості морського довкілля за методами біотестування та біоіндикації були відібрані проби води, чорноморських мідій і мікрофітобентосу:

- з акваторії Чорноморського яхт-клубу (координати 46°27,587' пн. ш. та 30°45,909' сх. д.);
- у місці впливу дренажних вод на пляжі «Дельфін» (координати 46°27,104' пн. ш. та 30°46,152' сх. д.);
- на умовно-чистій в минулі роки акваторії біля мису Малий Фонтан [14, 22], (координати 46°26,311' пн. ш. та 30°46,327' сх. д.);
- у місці значного рекреаційного навантаження на пляжі «Аркадія» (координати 46°25,684' пн. ш. та 30°46,070' сх. д.).

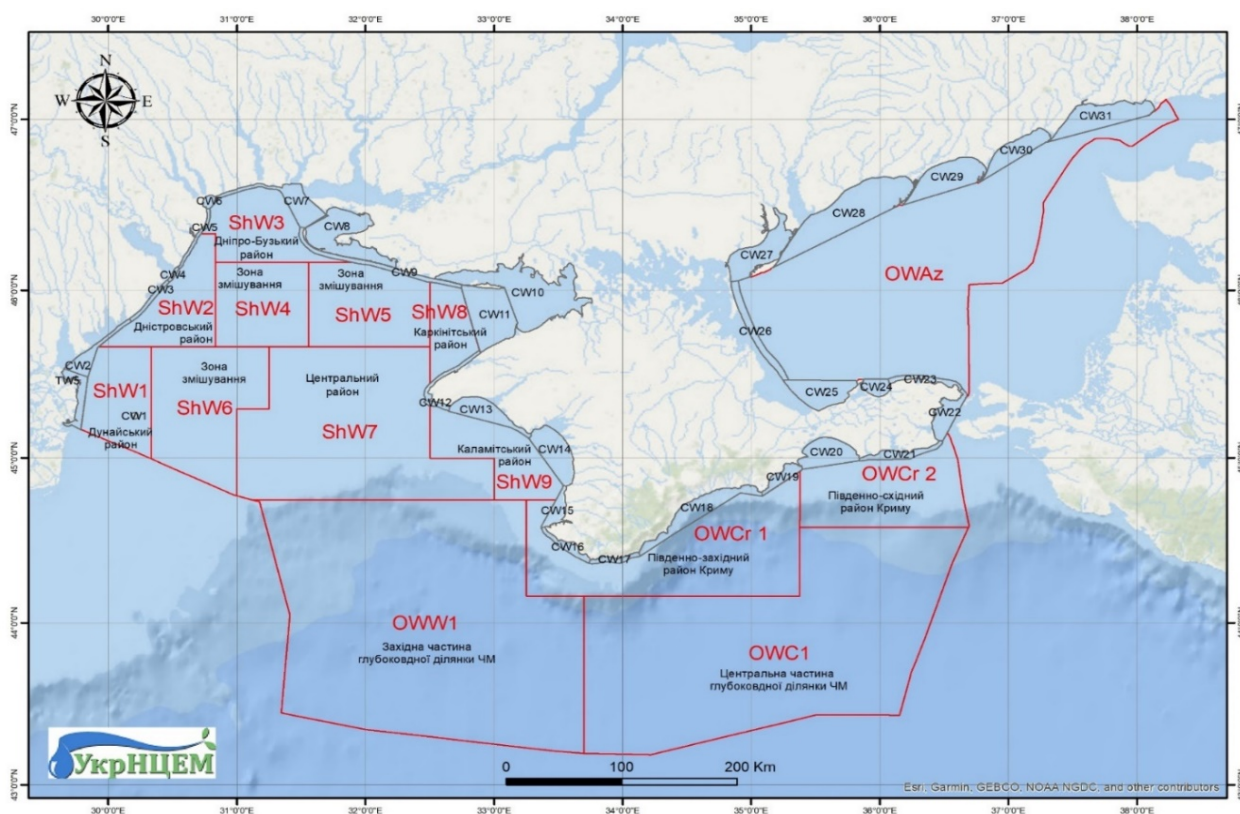


Рисунок 1 – Районування Чорного та Азовського морів [2]

Біотестування якості довкілля CW5 було проведено на личинках чорноморських мідій ранніх стадій розвитку та дорослих особинах цих двостулкових (розміром від 45 мм до 50 мм).

Для дослідження екологічного стану морського середовища за показниками морфогенезу личинок мідій була застосована «Методика оцінки якості морської води з використанням ранніх стадій розвитку ембріонів чорноморських мідій (*Mytilus galloprovincialis* Lamarck)», яка придатна як для біотестування, так і для біоіндикації якості морського довкілля [14]. Цей метод оцінки якості води характеризується як дуже чутливий та високоілюстративний, але має визначені сезонні обмеження в застосуванні через те, що цілком залежить від періодів розмноження використаних молюсків. Тому він застосовується у весняно-літній і в літньо-осінній періоди року та базується на вивченні норм і аномалій у розвитку личинок мідій в їхній планктонній фазі на стадіях трохофор і протоссоконхів у морських водах різного ступеню забруднення [24]-[26].

У таблиці 1 наведені розроблені та уточнені класи екологічного стану вод [27] для оцінки якості морського довкілля (відповідно до Водної Рамкової Директиви (WFD) [28]). Ці розрахунки були здійснені на базі критеріїв Woelke з оцінки токсичності морського середовища для личинок двостулкових молюсків [29], запропонованих у 1965 році, та власних багаторічних досліджень якості чорноморських вод при їх біотестуванні на личинках мідій ранніх стадій розвитку.

Таблиця 1 – Оцінка екологічного стану довкілля водних масивів ЧМ
за показником утворення нормальних личинок мідій
при біотестуванні якості вод (у %)

Клас екологічного стану вод		1	2	3	4	5
		Відмінний (high)	Добрий (good)	Задовільний (moderate)	Посередній (poor)	Поганий (bad)
Водні масиви	Кольоровий код	синій	зелений	жовтий	оранжевий	червоний
	Нормальні личинки, %	$\geq 90,0 - \leq 100,0$	$\geq 50,0 - < 90,0$	$\geq 15,0 - < 50,0$	$\geq 5,0 - < 15,0$	$\geq 0,0 - < 5,0$

Оцінка якості морського середовища за показником стабільності лізосомальних мембран клітин гемолімфи мідій була проведена за «Методикою оцінки якості морської води з використанням показника часу утримання нейтрального червоного лізосомами клітин гемолімфи мідій (*Mytilus galloprovincialis* Lamarck)» [14]. Ця методика застосовується у біологічному моніторингу для біотестування та біоіндикації морського середовища з використанням гемолімфи дорослих чорноморських мідій.

Метод базується на оцінці стану «здоров'я» мідій за показником часу утримання токсичного барвника (нейтрального червоного) лізосомами клітин гемолімфи двостулкових моллюсків. У здорових мідій лізосоми утримують барвник довше, ніж в ослаблених, руйнування лізосомальних мембран яких настає через короткий час після проникнення токсиканту в ці органели [30]-[33].

Враховуючи розроблені нами раніше критерії оцінки якості морського довкілля за показником стабільності лізосомальних мембран чорноморських мідій [14] та результати власних досліджень з оцінки екологічного стану морського довкілля (за чотирнадцять років спостережень) на базі показника лізосомальної стабільності клітин гемолімфи мідій, були розроблені та уточнені певні класи екологічного стану вод, які визначаються при біотестуванні якості водних мас за вищезазначеними характеристиками кроволімфи мідій [27], відповідно до WFD [28] (табл. 2).

Таблиця 2 – Оцінка екологічного стану довкілля водних масивів ЧМ
за показником стабільності мембран лізосом
клітин гемолімфи мідій (хв)

Клас екологічного стану вод		1	2	3	4	5
		Відмінний (high)	Добрий (good)	Задовільний (moderate)	Посередній (poor)	Поганий (bad)
Водні масиви	Кольоровий код	синій	зелений	жовтий	оранжевий	червоний
	Лізосомальна стабільність, хв	$\geq 150,0 - \leq 180,0$	$\geq 120,0 - < 150,0$	$\geq 60,0 - < 120,0$	$\geq 30,0 - < 60,0$	$\geq 0,0 - < 30,0$

Також для оцінки якості морського середовища був використаний показник інтенсивності фільтрації мідіями вод. Біотестування якості вод здійснювалося за «Методикою оцінки якості морської води з використанням показника характеру фільтрації води чорноморськими мідіями (*Mytilus galloprovincialis* Lamarck)» [14].

В основу методу покладена оцінка фізіологічного стану мідій за показником характеру фільтрації цими молюсками морської води в динаміці.

Фільтраційний процес у здорових мідій протікає активно. В ослаблених і пригноблених (під впливом забрудненого довкілля) молюсків цей процес загасає, аж до повного припинення [34]-[37].

За «Методикою оцінки якості води з використанням показника інтенсивності дихання водних організмів» [14] проводили моніторинг стану водного середовища по показниках дихання дорослих чорноморських мідій. Ця методика пристосована для біотестування і біоіндикації водного довкілля з використанням різних водних організмів. В основі методики – оцінка якості морських вод за динамікою змін інтенсивності дихання гідробіонтів (одного з основних показників обміну речовин в організмі) у досліджуваному середовищі [38]-[40].

Біоіндикацію якості морського середовища здійснювали з використанням угруповань мікрофітобентосу. Для визначення стану довкілля проби водоростей відбирали та обробляли за загальноприйнятими методиками [16], [41]-[43] з поверхонь наявних видів субстратів: пухких (пісок, мулистопіщаний ґрунт) та твердих (бетон, камінь, пластик, стулки мідій) та мікроскопіювали відповідно до методик [44]-[45]. Назви систематичних груп мікрофітів вказували за загальноприйнятою у світовій практиці системою класифікації [46]-[49]. Враховували не тільки бентосні, а й планктонні та бенто-планктонні форми.

Згідно з WFD [28], важливими параметрами в моніторингових дослідженнях водної флори можуть бути наявність або відсутність індикаторних видів. Зокрема, оцінка екологічної якості довкілля за кількістю α -мезосапробів в угрупованні мікрофітобентосу відображує ступінь евтрофікації морських водних масивів.

Враховуючи взаємозв'язок трофності водних об'єктів та сапробності донних мікрофітів з їх видовим складом і чисельністю, були розроблені та уточнені оцінки

екологічного стану довкілля водних масивів ПЗЧМ (за матеріалами власних п'ятнадцятирічних досліджень):

- за шкалою та класами трофності [50] і загальної чисельності мікрофітобентосу твердих субстратів (табл. 3);
- за кількістю α -мезосапробних видів (показників значного органічного забруднення [17]) в угрупованні мікрофітобентосу (табл. 4).

Таблиця 3 – Оцінка екологічного стану довкілля водних масивів за шкалою та класами трофності [50] по показниках чисельності мікрофітобентосу твердих субстратів (10^6 кл · м⁻²)

Клас екологічного стану вод		1	2	3	4	5
		Відмінний (high)	Добрий (good)	Задовільний (moderate)	Посередній (poor)	Поганий (bad)
Водні масиви	Кольоровий код	синій	зелений	жовтий	оранжевий	червоний
	Класи трофності	Оліготрофний	Мезотрофний	Евтрофний	Політрофний	Гіпертрофний
	Чисельність, млн. кл/м ²	0,10·10 ³ - 0,49·10 ³	0,50·10 ³ - 14,99·10 ³	15,00·10 ³ - 49,99·10 ³	50,00·10 ³ - 199,99·10 ³	≥200,0·10 ³

Таблиця 4 – Оцінка екологічного стану довкілля водних масивів за шкалою та рівнем сапробності [17] по показниках кількості видів α -мезосапробів у мікрофітобентосі твердих субстратів

Клас екологічного стану вод		1	2	3	4	5
		Відмінний (high)	Добрий (good)	Задовільний (moderate)	Посередній (poor)	Поганий (bad)
Водні масиви	Кольоровий код	синій	зелений	жовтий	оранжевий	червоний
	Рівень сапробності	Олігосапробний	β -мезосапробний	α -мезосапробний	Полісапробний	Гіперсапробний
	Кількість α -мезосапробних видів, од.	0-1	2-4	5-7	8-10	≥11

У досліджуваних акваторіях під час відбору проб води і гідробіонтів систематично вимірювались показники температури та солоності води.

Отримані результати з біотестування та біоіндикації якості морського довкілля були статистично оброблені [51].

З БІОТЕСТУВАННЯ ЯКОСТІ ВОД ЧОРНОГО МОРЯ ЗА ПОКАЗНИКАМИ РОЗВИТКУ ЛИЧИНОК МІДІЙ

Ранній ембріогенез – це найбільш чутливий етап розвитку морських безхребетних із зовнішнім заплідненням [52]. Влітку та восени 2024 року було проведено біотестування якості вод, як антропогенно навантажених, так і умовно чистих, відібраних з прибережних акваторій у районі ShW2 ПЗЧМ (у водному масиві CW5) з метою оцінки та діагнозу якості чорноморського довкілля за методами біотестування за показниками розвитку личинок мідій по «Методиці оцінки якості морської води з використанням ранніх стадій розвитку ембріонів чорноморських мідій (*Mytilus galloprovincialis* Lamarck)» [14] (див. 2).

Проби вод на біотестування їх якості були відібрані з таких акваторій CW5: Чорноморського яхт-клубу, у місці впливу дренажних вод на пляжі «Дельфін», біля мису Малий Фонтан та на значно рекреаційно навантаженому пляжі «Аркадія».

Температурні показники досліджуваних прибережних поверхневих водних мас в літній сезон становили 21,5-22,5°C, а восени 20,8-21,5°C. Солоність цих вод влітку перебувала у діапазоні 14,227-14,923 ‰, а в осінній період року коливалася від 16,665 ‰ до 16,745 ‰. Тобто, найважливіші гідрологічні показники морського довкілля, що впливають на розвиток чорноморських гідробіонтів, у період досліджень, як і у попередньому році, знаходились в межах екологічної норми.

Від дорослих чорноморських мідій, які мешкали у прибережжі мису Малий Фонтан (тобто в умовно-чистій у минулі роки ділянці моря в Одеському регіоні [14], [22]) були отримані статеві продукти. З відібраних якісних продуктів були одержані здорові личинки та проведено біотестування досліджуваних вод. Отримані проби личинок мідій (перших двох стадій розвитку) було зафіксовано та мікроскопічно оброблено.

У таблицях 5 та 6 представлені результати біотестування якості довкілля водного масиву CW5 влітку та восени 2024 року. Під час досліджень 100 % трохофор у всіх протестованих водах перетворилися у протісоконхів.

Таблиця 5 – Розвиток личинок *Mytilus galloprovincialis* при біотестуванні якості чорноморського довкілля водного масиву CW5 влітку 2024 року (у %)

Личинки мідій		Літній період року							
		Пляж «Дельфін»		Чорноморський яхт-клуб		Прибережжя мису Малий Фонтан		Пляж «Аркадія»	
		$\bar{x} \pm \sigma$	c.v.	$\bar{x} \pm \sigma$	c.v.	$\bar{x} \pm \sigma$	c.v.	$\bar{x} \pm \sigma$	c.v.
Трохофори	нормальні	0,0 ± 0,00	0,00	0,0 ± 0,00	0,00	0,0 ± 0,00	0,00	0,0 ± 0,00	0,00
	аномальні	0,0 ± 0,00	0,00	0,0 ± 0,00	0,00	0,0 ± 0,00	0,00	0,0 ± 0,00	0,00
	Всього	0,0 ± 0,00	0,00	0,0 ± 0,00	0,00	0,0 ± 0,00	0,00	0,0 ± 0,00	0,00
Продісоконхи	нормальні	30,1 ± 0,55	1,83	27,9 ± 0,59	2,11	32,9 ± 0,80	2,43	33,9 ± 0,29	0,86
	аномальні	68,2 ± 0,80	1,17	53,5 ± 0,92	1,72	63,1 ± 1,05	1,66	53,6 ± 0,86	1,60
	мертві	1,7 ± 0,29	17,06	18,6 ± 0,34	1,83	4,0 ± 0,25	6,25	12,5 ± 2,06	16,48
	Всього	100,0 ± 0,00	0,00	100,0 ± 0,00	0,00	100,0 ± 0,00	0,00	100,0 ± 0,00	0,00

Таблиця 6 – Розвиток личинок *Mytilus galloprovincialis* при біотестуванні якості чорноморського довкілля водного масиву CW5 восени 2024 року (у %)

Личинки мідій		Осінній період року							
		Пляж «Дельфін»		Чорноморський яхт-клуб		Прибережжя мису Малий Фонтан		Пляж «Аркадія»	
		$\bar{x} \pm \sigma$	c.v.	$\bar{x} \pm \sigma$	c.v.	$\bar{x} \pm \sigma$	c.v.	$\bar{x} \pm \sigma$	c.v.
Трохофори	нормальні	0,0 ± 0,00	0,00	0,0 ± 0,00	0,00	0,0 ± 0,00	0,00	0,0 ± 0,00	0,00
	аномальні	0,0 ± 0,00	0,00	0,0 ± 0,00	0,00	0,0 ± 0,00	0,00	0,0 ± 0,00	0,00
	Всього	0,0 ± 0,00	0,00	0,0 ± 0,00	0,00	0,0 ± 0,00	0,00	0,0 ± 0,00	0,00
Продісоконхи	нормальні	55,4 ± 0,50	0,90	54,2 ± 0,42	0,77	65,2 ± 0,71	1,09	43,6 ± 0,71	1,63
	аномальні	37,6 ± 0,34	0,90	37,7 ± 0,46	1,22	30,7 ± 1,22	3,97	51,4 ± 1,47	2,86
	мертві	7,0 ± 0,84	12,00	8,1 ± 0,08	0,99	4,1 ± 0,71	17,32	5,0 ± 0,84	16,80
	Всього	100,0 ± 0,00	0,00	100,0 ± 0,00	0,00	100,0 ± 0,00	0,00	100,0 ± 0,00	0,00

У водах з акваторій водного масиву CW5 за період експозиції в умовах лабораторії влітку загинуло личинок від 1,7 % до 18,7 % у пробах води з пляжу «Дельфін» та Чорноморського яхт-клубу, відповідно (див. табл. 5). Тоді ж кількість личинок мідій нормальної морфології, що розвинулися при біотестуванні якості досліджуваних морських середовищ, була доволі значною і коливалася від 27,9 % (у воді яхт-клубу) до 33,9 % (у воді з пляжу «Аркадія»).

Біотестування улітку 2024 року, здійснене для морського прибережжя Одеського регіону (CW5) на личинках мідій ранніх стадій розвитку, виявило, що всі досліджені ділянки моря відповідали екологічному класу стану вод «задовільний», тому що кількість нормально розвинених тест-об'єктів перебувала в межах від 15,0 % до 50,0 % (табл. 7).

В осінній сезон цього року під час біотестування якості довкілля водного масиву CW5 кількість мертвих личинок коливалася від 4,1 % (у пробі води з прибережжя мису Малий Фонтан, що було на 0,1 % вище за показник, отриманий влітку) до 8,1 % у воді, відібраній в яхт-клубі (див. табл. 5 та 6).

Проведена восени оцінка екологічного стану довкілля CW5 під час біотестування якості водних мас з місць із різним антропогенним навантаженням на личинках мідій (як більш чутливих за дорослих моллюсків до впливу морських вод різного ступеню забруднення) виявила, що екологічні властивості досліджених вод покращувалися в ряду: пляж «Аркадія» → Чорноморський яхт-клуб → пляж «Дельфін» → прибережжя мису Малий Фонтан. А саме, найкращим екологічним станом (за показником відсотку утворених личинок мідій нормальної морфології) характеризувалося довкілля ділянки моря біля мису Малий Фонтан (65,2 %), пляжу «Дельфін» (55,4 %), Чорноморського яхт-клубу (54,2 %). Водні середовища цих ділянок CW5 відповідали екологічному класу стану вод «добрий», тому що кількість нормально розвинених в них тест-об'єктів перебувала у діапазоні від 50,0 % до 90,0 % (див. табл. 7). Але порівняно з 2020 роком, коли вперше за останнє двадцятиріччя під час біотестування якості вод з використанням личинок мідій для CW5 був встановлений екологічний стан «добрий», наразі сталася подібна ситуація для трьох вищеназваних акваторій цього водного масиву.

І тільки водні маси рекреаційно навантаженої акваторії пляжу «Аркадія» восени відповідали екологічному класу стану вод «задовільний», в них утворилося 43,6 % личинок мідій нормальної морфології (тобто, показник не сягнув 50,0 %). Але порівняно з результатами біотестування стану чорноморських вод у 2010 році, з використанням личинок мідій ранніх стадій розвитку, наразі спостерігалось покращення екологічних властивостей дослідженого прибережного довкілля пляжу «Аркадія» майже у 44 рази (рис. 2).

За період з 2010 по 2024 рік під час регулярних моніторингових досліджень якості водного довкілля ПЗЧМ за біологічними методами досить нечасто доводилося реєструвати високі показники утворення морфологічно нормальних личинок мідій другої стадії розвитку цих тест-об'єктів (тобто продіссоконхів). Це вперше при біотестуванні якості поверхневих вод було встановлено влітку 2016 року, коли досліджували воду, доставлену з району материкового схилу ПЗЧМ (OWW1) (див. рис. 1). Кількість нормальних продіссоконхів, що утворилися в цій воді, становила 59,1 % (див. рис. 2). Наступного разу високі показники утворення нормальних личинок мідій було отримано восени 2020 року при біотестуванні прибережних вод ПЗЧМ з водних масивів CW4 (пляж смт Затока – 60,6 %), CW5 (Дача Ковалевського – 67,2 %, пляж «Аркадія» – 61,6 %, прибережжя мису Малий Фонтан – 65,2 %, пляж «Дельфін» – 64,3 %), CW6 (Одеський порт – 51,4 %). Оскільки утворених тест-об'єктів нормальної морфології нараховано у діапазоні $\geq 50,0$ – $< 90,0$, ці досліджені у 2016 та 2020 роках поверхневі чорноморські води відповідали класу екологічного стану вод «добрий».

Біотестування якості довкілля водного масиву CW5 ПЗЧМ з використанням личинок чорноморських мідій ранніх стадій розвитку дозволило встановити, що впродовж 2024 року суттєво покращилися екологічні властивості водних середовищ трьох акваторій: Чорноморського яхт-клубу, пляжу «Дельфін» та прибережжя мису Малий Фонтан (від класу екологічного стану вод «задовільний» до класу – «добрий»). Акваторія, прилегла до мису Малий Фонтан, залишилась умовно чистою в досліджуваному водному масиві й у цьому році.

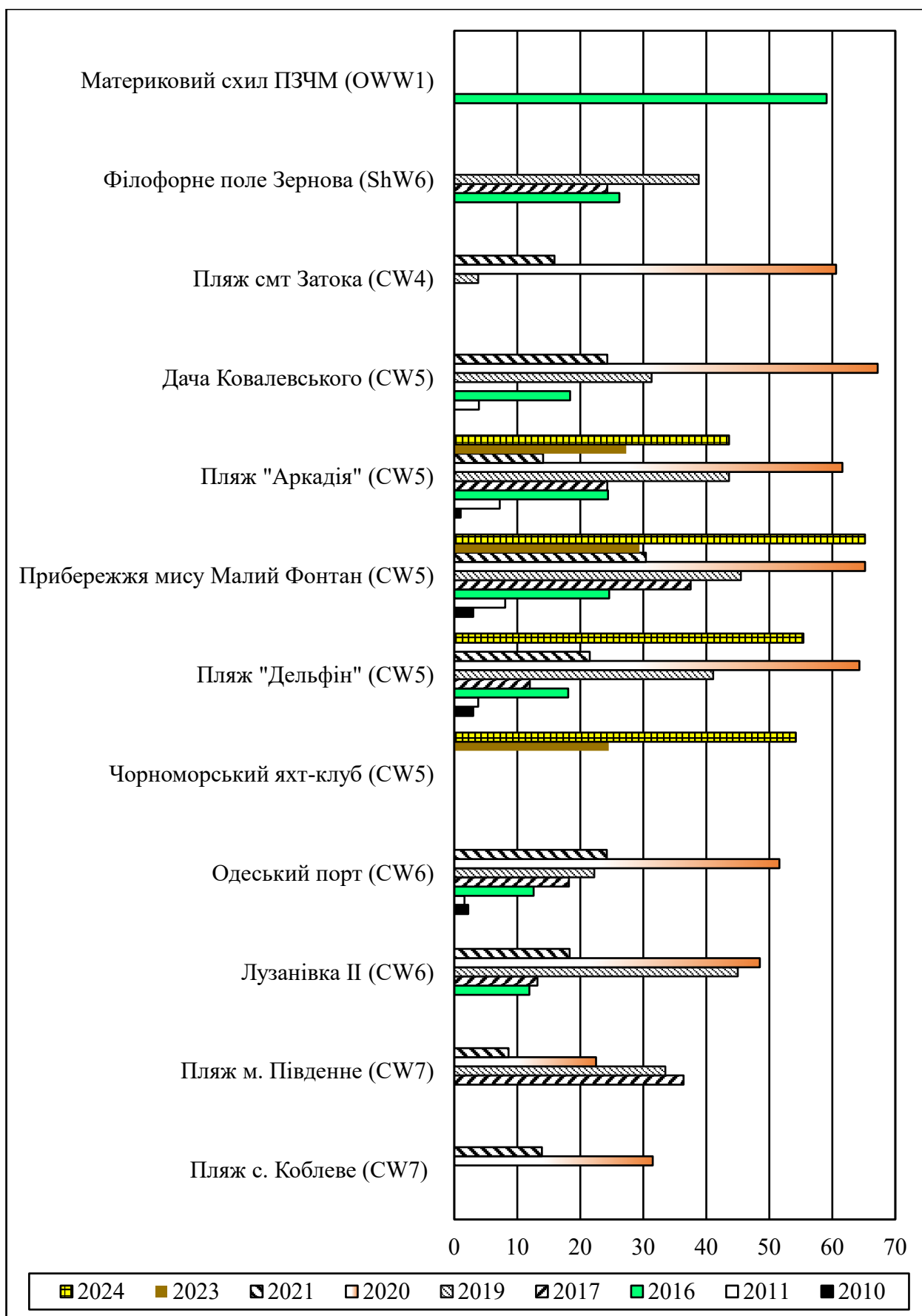


Рисунок 2 – Розвиток нормальних протиссоконхів мідій при біотестуванні якості морських вод ПЗЧМ у 2010-2024 роках (у %)

4 БІОТЕСТУВАННЯ ЯКОСТІ ДОВКІЛЛЯ ЧОРНОГО МОРЯ ЗА ПОКАЗНИКАМИ СТАНУ ДОРОСЛИХ МІДІЙ

Двостулкові молюски родини мітілід (*Mytilidae* Rafinesque) – провідний компонент донних фільтраторів Чорного моря, здійснюючих колосальну за масштабами функцію біологічного фільтру, що осаджує різні зависі з водного середовища від урізу води до меж сірководневої зони [34], [35]. Мітіліди-домінанти відіграють значну едифікаторну роль у спільнотах. В багатьох біотопах вони є домінуючими за розмірами і біомасою представниками зообентосу, які визначають структурні та функціональні особливості донних спільнот.

Чорноморські мідії як біофільтратори, які пропускають крізь себе щодобово величезну кількість морської води, що забезпечує їх життєдіяльність за рахунок відфільтровування компонентів оточуючого середовища, дуже виділяються серед мітілід. Мідії здатні накопичувати у своєму організмі забруднюючі речовини з водного довкілля. Тому можна сказати, що стан мідій – це інтегральний показник екологічного стану району мешкання даних гідробіонтів, тобто стан цих молюсків-фільтраторів об'єктивно відображує якість морського довкілля, як середовища їхнього мешкання.

Біотестування (біологічна оцінка) якості вод, як природних, так і антропогенно трансформованих, з використанням чорноморських мідій (на різних за чутливістю вікових стадіях їхнього розвитку), дозволяє отримати достовірну інформацію щодо екологічних характеристик морських акваторій [14].

Влітку та восени 2024 року було проведено біотестування якості середовища водного масиву CW5 ПЗЧМ за фізіолого-морфологічними показниками дорослих чорноморських мідій: стабільністю мембран лізосом клітин гемолімфи даних мітілід до впливу модельного токсиканту (нейтрального червоного), інтенсивністю процесу фільтрації води та активністю споживання розчиненого у воді кисню цими двостулковими молюсками. Проби води і мідій були відібрані у другій половині червня та в першій половині жовтня.

4.1 Оцінка якості морського середовища за показником стабільності лізосомальних мембран клітин гемолімфи мідій

Влітку та восени 2024 року було проведено біотестування якості вод прибережних акваторій у водному масиві CW5 району ShW2 ПЗЧМ, як умовно-чистих, так і антропогенно навантажених, з метою оцінки та діагнозу їх екологічного стану за «Методикою оцінки якості морської води з використанням показника часу утримання нейтрального червоного лізосомами клітин гемолімфи мідій (*Mytilus galloprovincialis* Lamarck)» (див. 2).

Проби морських вод на біотестування якості були відібрані у водному масиві CW5 з акваторії Чорноморського яхт-клубу та прибережжя мису Малий Фонтан.

Для коректної інтерпретації даних, отриманих при біотестуванні якості морського середовища за фізіолого-морфологічними показниками гідробіонтів, потрібно враховувати вплив на стан тест-об'єктів ряду екологічних факторів, таких, як солоність, температура, період року, тощо [38].

Як вже відмічалось (див. 3), показники температури і солоності доквілля водного масиву CW5 ПЗЧМ у літній та осінній сезони 2024 року перебували в межах екологічної норми для розвитку чорноморських гідробіонтів (зокрема, мідій).

Для біотестування були використані дорослі чорноморські мідії, що мешкали на вертикальних поверхнях берегозахисних бетонних споруд ділянки моря, прилеглої до мису Малий Фонтан, що була визнана впродовж досліджень попередніх років умовно-чистою.

Стан «здоров'я» дорослих *M. galloprovincialis* та водного середовища акваторій масиву CW5 (за часом утримання нейтрального червоного мембранами лізосом гемолімфи мідій при здійсненому влітку та восени у 2024 році біотестуванні якості морського доквілля) відповідав наступним екологічним класам вод (табл. 8):

Таблиця 8 – Оцінка екологічного стану довкілля акваторій водних масивів CW5- CW7 за показником стабільності мембран лізосом клітин гемолімфи мідій при біотестуванні якості їх вод у 2020-2024 роках (у хв)

- «добрий» (у Чорноморському яхт-клубі, у воді якого стабільність лізосомальних мембран тест-об'єктів завжди тривала лише 135 хвилин);
- «відмінний» (у прибережжі мису Малий Фонтан, тому що реєстрований показник гемолімфи молюсків перевищував 150-хвилинний поріг на 12-21 хвилину).

Екологічний стан довкілля водних масивів ПЗЧМ (CW5, CW6, CW7) впродовж 2020-2021 та 2023-2024 років, здебільшого, відповідав класу «відмінний». Це було виявлено при біотестуванні якості морського довкілля досліджених прибережних морських акваторій за показником стабільності мембран лізосом клітин гемолімфи мідій. Якість водного середовища для життєдіяльності цих дорослих молюсків-фільтраторів була доволі стабільно високою (див. табл. 8).

Біотестування якості морського довкілля за показником часу утримання нейтрального червоного мембранами лізосом клітин гемолімфи *M. galloprovincialis* показало, що влітку та восени 2024 року, як і при попередніх моніторингових дослідженнях, найбільш екологічно сприятливими для мешкання цих дорослих мітілід були умови у водному середовищі прибережжя мису Малий Фонтан (CW5). Тобто, акваторія, прилегла до мису Малий Фонтан, лишилася умовно-чистою порівняно з іншими дослідженими прибережними ділянками моря (CW5-CW7), тому що її водне довкілля було найсприятливішим для життєдіяльності дорослих мітілід [14], [22].

4.2 Оцінка якості морських вод за показником інтенсивності фільтрації води мідіями

До найбільш зручних об'єктів для дослідження екологічного стану прибережного морського середовища відноситься чорноморська мідія, яка є активним фільтратором морських вод та численним компонентом різноманітних

зооценозів Чорного моря [14], [35], [37], [53]-[54]. Фільтраційна активність – одна з основних характеристик процесів метаболізму в організмах мітілід, яка є важливою характеристикою реакції їх на зміни якості оточуючого морського довкілля під впливом природних та антропогенних факторів. Фізіолого-морфологічні показники організму, які використовуються для оцінки екологічних умов його існування, займають особливе місце серед продукційних характеристик виду.

Стан «здоров'я» цих двостулкових бентосних організмів дзеркально відображує якість морського довкілля місця їхнього мешкання, тому що вони ведуть осілий спосіб життя і тому не можуть залишити своє місцеперебування під час змін екологічних умов у навколишньому середовищі.

У літній та осінній сезони 2024 року було проведено біотестування якості довкілля водного масиву CW5 ПЗЧМ (як умовно-чистих, так і антропогенізованих вод з прибережжя мису Малий Фонтан та з акваторії Чорноморського яхт-клубу, відповідно) за показником інтенсивності фільтрації води дорослими мідіями (розміром від 45 мм до 50 мм) за «Методикою оцінки якості морської води з використанням показника характеру фільтрації води чорноморськими мідіями (*Mytilus galloprovincialis* Lamarck)» [14] (див. 2).

Важливі для життєдіяльності чорноморських гідробіонтів показники температури і солоності довкілля CW5 влітку та восени цього року перебували в межах екологічної норми для розвитку двостулкових молюсків (див. 3).

Фільтраційна активність мідій при тестуванні якості води з прибережжя мису Малий Фонтан в літній та осінній сезони 2024 року на 4-ту годину спостережень становила 35,7 % і 68,8 % (до можливого) і перевищувала інтенсивність фільтрації цими тест-об'єктами води з Чорноморського яхт-клубу на 2,1 % та 11,5 %, відповідно (табл. 9).

Фільтраційна активність мідій при тестуванні якості води з ділянки моря біля мису Малий Фонтан в осінній сезон 2023 року на 4-ту годину спостережень становила 63,0 % (до можливого) і перевищувала інтенсивність фільтрації цими тест-об'єктами води з Чорноморського яхт-клубу на 12,0 %.

Таблиця 9 – Інтенсивність фільтрації води чорноморськими мідіями при біотестуванні якості довкілля водного масиву CW5 у 2024 році (у % до можливого)

Термін експозиції (години)	Чорноморський яхт-клуб			Прибережжя мису Малий Фонтан		
	n	$\bar{x} \pm \sigma$	c.v.	n	$\bar{x} \pm \sigma$	c.v.
Літній період року						
0,5	10	15,0 ± 3,37	22,47	10	20,1 ± 4,33	21,54
1,0	10	16,7 ± 3,97	23,77	10	27,8 ± 6,61	23,78
1,5	10	23,3 ± 4,75	20,39	10	29,9 ± 6,19	20,70
2,0	10	26,8 ± 5,05	18,84	10	35,8 ± 5,04	14,08
2,5	10	29,8 ± 4,94	16,58	10	36,4 ± 4,99	13,71
3,0	10	31,4 ± 5,00	15,92	10	36,1 ± 4,62	12,80
3,5	10	32,5 ± 5,00	15,38	10	37,0 ± 4,09	11,05
4,0	10	33,6 ± 4,82	14,35	10	35,7 ± 3,43	9,61
Осінній період року						
0,5	10	18,4 ± 4,52	24,57	10	28,0 ± 4,45	15,89
1,0	10	36,3 ± 7,91	21,79	10	50,4 ± 4,51	8,95
1,5	10	49,1 ± 8,57	17,45	10	62,9 ± 3,55	5,64
2,0	10	57,2 ± 8,45	14,77	10	71,8 ± 1,74	2,42
2,5	10	60,3 ± 8,03	13,32	10	74,9 ± 1,02	1,37
3,0	10	61,2 ± 7,73	12,63	10	73,6 ± 0,84	1,14
3,5	10	60,2 ± 7,37	12,24	10	71,2 ± 0,71	1,00
4,0	10	57,3 ± 6,79	11,85	10	68,8 ± 0,42	0,61

Ретроспективне порівняння результатів досліджень процесу фільтрації мідіями морської води з різних прибережних районів ПЗЧМ показало, що в осінні сезони 2020-2021 років фільтраційна активність мідій при біотестуванні якості водного довкілля з CW7 за отриманими показниками була нижчою за результати досліджень якості вод з CW5 та CW6 (рис. 3).

Слід відзначити, що порівняно з осіннім показником активності фільтрації мідіями води з ділянки моря біля мису Малий Фонтан у 2021 році – 70,1 %, в осінні сезони 2023 та 2024 років зареєстровано зниження цього показника на 7,1 % і 1,3 % (до можливого), відповідно.

Але, порівняно з осіннім показником фільтраційної активності мідій при біотестуванні води з прибережжя мису Малий Фонтан у 2023 році – 63,0 %, восени

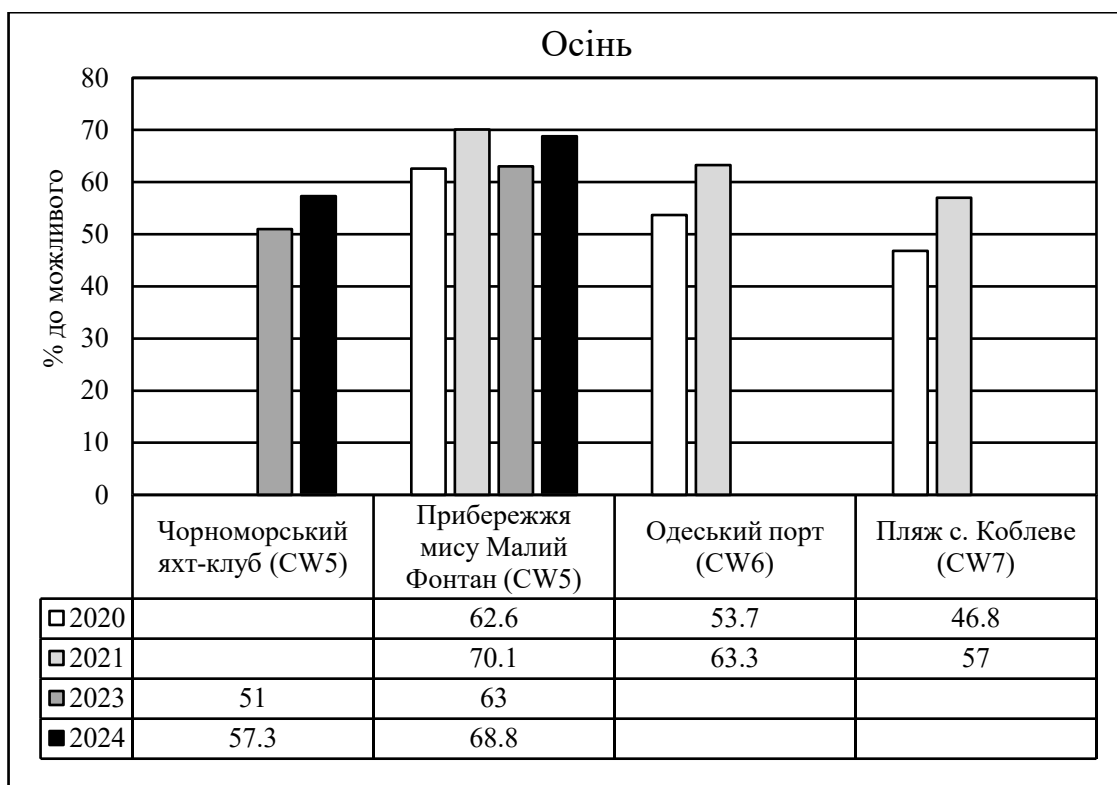


Рисунок 3 – Фільтраційна активність мідій при біотестуванні якості довкілля водних масивів ПЗЧМ в осінні сезони 20120-2021 та 2023-2024 років (на 4-ту годину спостережень)

2024 року зареєстровано зростання цього показника на 5,8 % (до можливого).

Акваторія, прилегла до мису Малий Фонтан, перебуває лише під незначним антропогенним тиском (за рахунок рекреаційного навантаження) і, як показали осінні показники фільтраційної активності тест-об'єктів у 2024 році, вона залишається умовно-чистою у водному масиві CW5.

4.3 Оцінка якості морського довкілля за показником інтенсивності дихання мідій

Рівень споживання двостулковими молюсками розчиненого у воді кисню – одна з найважливіших характеристик стану їхнього організму [55]-[56]. За оцінкою

інтенсивності дихання молюсків (показника швидкості обміну речовин у них) можна зробити висновок щодо фізіологічного стану організму в цілому [38].

Різноманітні фактори, такі як температура і солоність води, присутність забруднюючих речовин, інтенсивність харчування, наявність короточасної або тривалої гіпоксії, пора року та інші, впливають на процес дихання *Bivalvia* [57]-[63]. Температура води – один з основних факторів, що впливає на процес дихання у мідій [64]-[65]. На активність цього процесу впливає стадія розвитку статевих продуктів, тощо [62], [66]-[67]. Встановлено, що інтенсивність дихання скельової мідії мінімальна взимку, збільшується в березні-квітні при підвищенні температури води та визріванні гонад і максимальна при температурі води від 14 С до 16 С [68]-[70]. Обмін речовин у молюсків знижується після нересту, хоча температура води продовжує зростати [35]. Мідія здатна проявляти постійну інтенсивність обміну речовин у достатньо широкому діапазоні концентрацій кисню у воді.

Проведені нами багаторічні дослідження сезонних змін показників обміну речовин у чорноморських мідій за інтенсивністю споживання ними розчиненого у воді кисню збіглися з висновками інших дослідників [16], [35], [68]-[70].

Влітку та восени 2024 року в прибережжі Дністровського району (ShW2) ПЗЧМ (у водному масиві CW5 на акваторіях Чорноморського яхт-клубу та в прибережжі мису Малий Фонтан) солоність та температура водного середовища (дуже важливі для розвитку водних організмів гідрологічні фактори) перебували в межах екологічної норми для життєдіяльності чорноморських гідробіонтів (див. 3).

Біотестування якості морського довкілля прибережних акваторій за показником інтенсивності дихання чорноморських мідій (розміром від 45 мм до 50 мм) було проведено за «Методикою оцінки якості води з використанням показника інтенсивності дихання водних організмів» [14] (див. 2).

При біотестуванні водного середовища з району мису Малий Фонтан інтенсивність дихання мідій в літній та осінній періоди 2024 року становила 0,25 мл O_2 /особину в годину та 0,28 мл O_2 /особину в годину (відповідно), тобто була подібною до значення даного показника, встановленого восени 2020 року (рис. 4 та рис. 5).

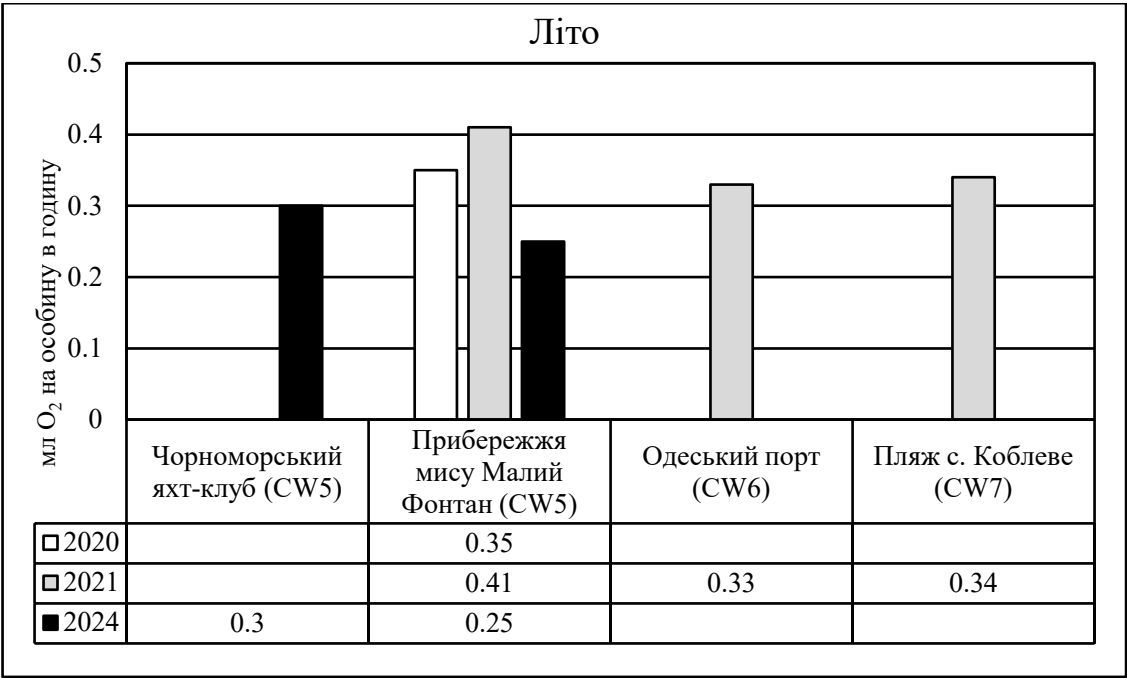


Рисунок 4 – Дихання мідій при біотестуванні якості довкілля водних масивів ПЗЧМ в літні сезони 2020-2021 і 2024 років (в мл O₂/особину в годину)

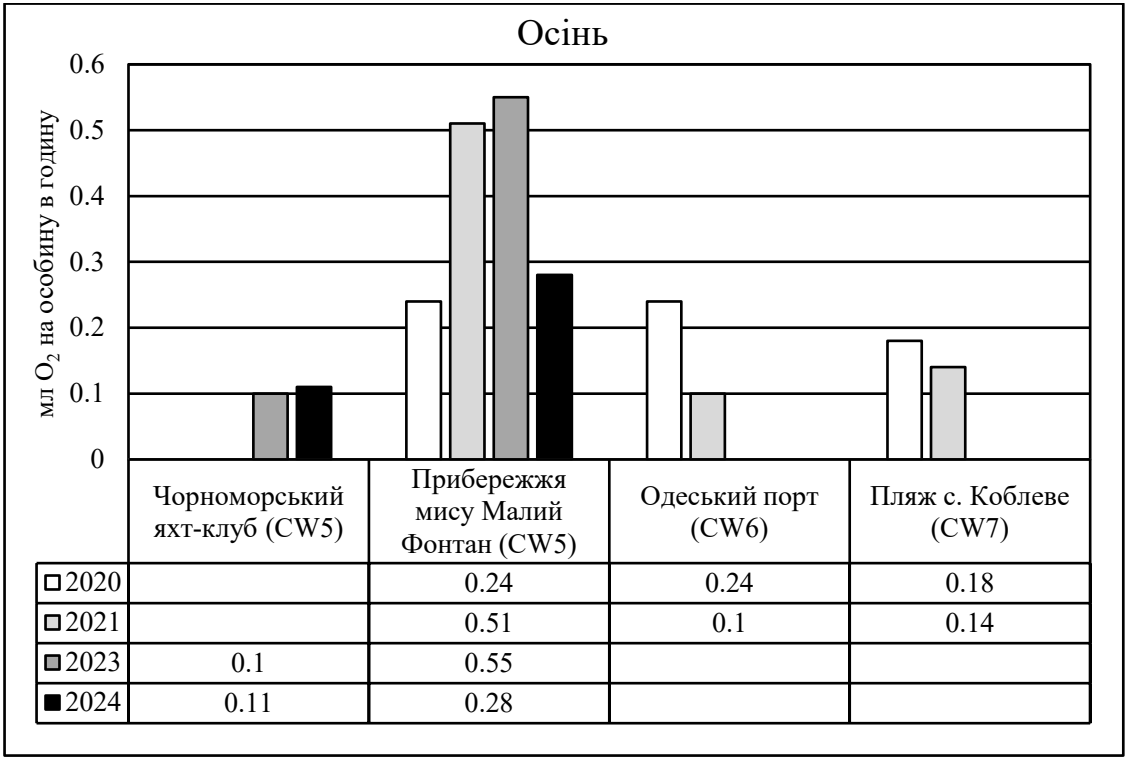


Рисунок 5 – Дихання мідій при біотестуванні якості довкілля водних масивів ПЗЧМ в осінні сезони 2020-2021 і 2023-2024 років (в мл O₂/особину в годину)

Восени 2024 року споживання молюсками розчиненого у воді кисню під час тестування якості водних мас з яхт-клубу було більш ніж у 2,5 рази гіршим за показник інтенсивності дихання мітілід у воді з прибережжя мису Малий Фонтан, а саме становило лише 0,11 мл O_2 /особину в годину (див. рис. 5). Низький реєстрований показник у тест-об'єктів характеризував водне середовище яхт-клубу як значно гіршої якості, ніж умовно-чистої акваторії, прилеглої до мису Малий Фонтан.

В осінній сезон попереднього року інтенсивність дихання мідій при біотестуванні якості води з району мису Малий Фонтан становила 0,55 мл O_2 /особину в годину, тобто була подібною до значення даного показника, встановленого у 2021 році.

А споживання молюсками розчиненого у воді кисню під час тестування якості водних мас з яхт-клубу восени 2023 року було більш ніж у 5 разів гіршим порівняно з інтенсивністю дихання мідій, що перебували в умовах лабораторії у воді з акваторії, прилеглої до мису Малий Фонтан, а саме становило лише 0,10 мл O_2 /особину в годину. Тобто, як і у 2024 році, цей низький реєстрований показник у тест-об'єктів показував, що якість водного довкілля Чорноморського яхт-клубу була значно гіршою порівняно з такою водних мас з прибережжя мису Малий Фонтан.

Ретроспективний аналіз змін екологічного стану прибережного довкілля водних масивів ПЗЧМ за показником інтенсивності дихання мідій при біотестуванні якості водного середовища досліджуваних районів показав, що більш ніж вдвічі зріс показник споживання розчиненого у воді кисню мідіями при тестуванні якості водного довкілля CW5 осінню 2021 року, а під час перебування тест-об'єктів у водах з CW6 та CW7 в умовах лабораторії, навпаки, знизився у 2,4 та 1,3 рази (відповідно) порівняно з результатами здійснених аналогічних досліджень у осінній сезон 2020 року (див. рис. 5).

Проведені у 2020-2021 і 2023-2024 роках оцінка та діагноз екологічного стану довкілля ПЗЧМ за методами біотестування якості вод з різним ступенем і характером забруднення при одночасному використанні декількох фізіолого-

морфологічних показників стану метаболічних процесів в організмах чорноморських мідій (ембріогенезу личинок даних молюсків на ранніх стадіях розвитку, стабільності лізосомальних мембран клітин гемолімфи цих статевозрілих двостулкових, фільтраційної активності та інтенсивності споживання ними розчиненого у воді кисню) показали, що у водному масиві CW5 стан водного довкілля відповідав екологічним класам вод «відмінний» та «добрий» для дорослих *M. galloprovincialis* (див. 4.1), а для більш чутливих тест-об'єктів – личинок мідій на перших двох стадіях розвитку – класам «добрий» та «задовільний» (див. 3).

Впродовж 2024 року, як і у попередні більш ніж 20 років спостережень, для акваторії, прилеглої до мису Малий Фонтан, отримані у переважній більшості найкращі результати з досліджень екологічного стану морського довкілля методами біотестування з використанням чорноморських мідій різних стадій розвитку. Тобто, ця ділянка прибережжя ПЗЧМ залишилася умовно-чистою у водному масиві CW5.

5 БІОІНДИКАЦІЯ ЯКОСТІ ДОВКІЛЛЯ ЧОРНОГО МОРЯ ЗА ПОКАЗНИКАМИ СТАНУ МІКРОФІТОБЕНТОСУ

Контурні біотопи, населені організмами обростань, представлені природними та штучними морськими субстратами (такими, як каміння, пісок, бетонні, пластикові та металеві споруди, стулки молюсків). Характерними рисами цих водних оселищ є різноманітний видовий склад, високі показники чисельності та біомаси гідробіонтів. Оскільки дані угруповання малорухливих та прикріплених організмів знаходяться під інтенсивним природним й антропогенним впливом, вони є важливим об'єктом морського моніторингу [71].

У дослідженнях екологічного стану морського довкілля контурні біотопи та їх біоценози відіграють ключову роль [72]. На субстратах мешкають певні види або групи видів мікроводоростей [73]. Серед них провідне місце належить діатомеям, широко представленим в ЧМ впродовж року, та ціанопрокаріотам, що найбільш інтенсивно розвиваються влітку при високих температурах води [74]. В імпактних частинах моря, які зазнають значного органічного забруднення, чисельність мікрофітів в 2,0-2,5 рази вища порівняно з його умовно чистими акваторіями [75].

Важливою складовою комплексної оцінки наслідків антропогенного впливу на екосистеми субліторалі є дослідження стану біологічної різноманітності обростань мікрофітів на твердих субстратах у контактній зоні берег-море [76]. Прикріплені діатомеї перифітону та бентосу за систематичним складом значно багатші, ніж планктонні пелагічні угруповання. Це обумовлено різними екологічними умовами у субліторалі та пелагіалі водойм. У біотопах з помірним забрудненням спостерігається інтенсивніший кількісний розвиток діатомей, порівняно з чистими водами, але зменшується кількість видів і домінують полі- і мезосапроби, які є стійкими до антропогенного впливу. Більш інтенсивне забруднення місцеперебування спільнот бентосних мікроводоростей поступово призводить до зниження їхніх систематичних та кількісних показників.

5.1 Оцінка якості морського середовища за показниками розвитку бентосних мікрофітів

Впродовж 2024 року була проведена оцінка якості морського довкілля методом біоіндикації за систематичними, кількісними, морфологічними, галобіонтними та сапробіонтними показниками розвитку мікрофітобентосу. Водорості були відібрані з різних субстратів, як твердих (бетонних пірсів, каменю біля берега, стулок мідій), так і піщаних (в зоні заплеску). Проби відбирали в різних за рівнем антропогенного навантаження акваторіях ПЗЧМ: Чорноморського яхт-клубу, біля мису Малий Фонтан, пляжів «Дельфін» та «Аркадія». У водному масиві CW5 було знайдено 159 видів донних, прикріплених та осілих планктонних мікрофітів (Додаток А), які належали до 9 класів водоростей (рис. 6).

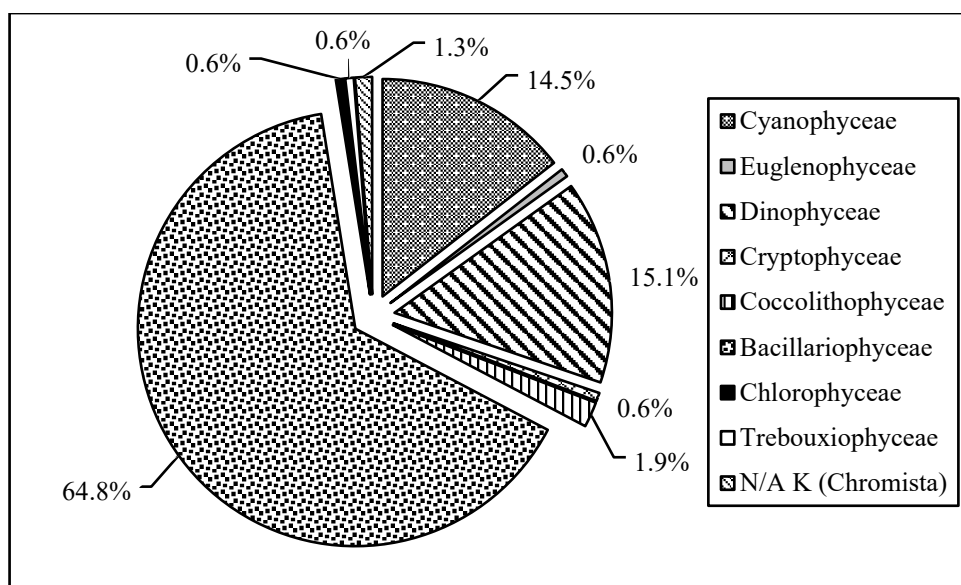


Рисунок 6 – Таксономічний склад мікрофітобентосу водного масиву CW5 у 2024 році (у % від кількості знайдених видів)

Переважали діатомеї (64,8 % від загальної кількості знайдених видів). Широко представлені були й дінофітові (15,1 %) та синьо-зелені водорості (14,5 %). Кількість видів дінофітових водоростей зросла в 1,3 рази порівняно з минулим

роком, тоді як діатомей, ціанопрокаріот та зелених – зменшилася в 1,2, 1,3 та 3,5 рази, відповідно (рис. 7). Знайдено 12 потенційно токсичних видів мікрофітів: здебільшого серед синьо-зелених роду *Microcystis* та дінофітових (*Lingulaulax polyedra*, *Scrippsiella acuminata* і види родів *Dinophysis* та *Prorocentrum*). Порівняно з попереднім роком їх стало менше в 1,4 рази.

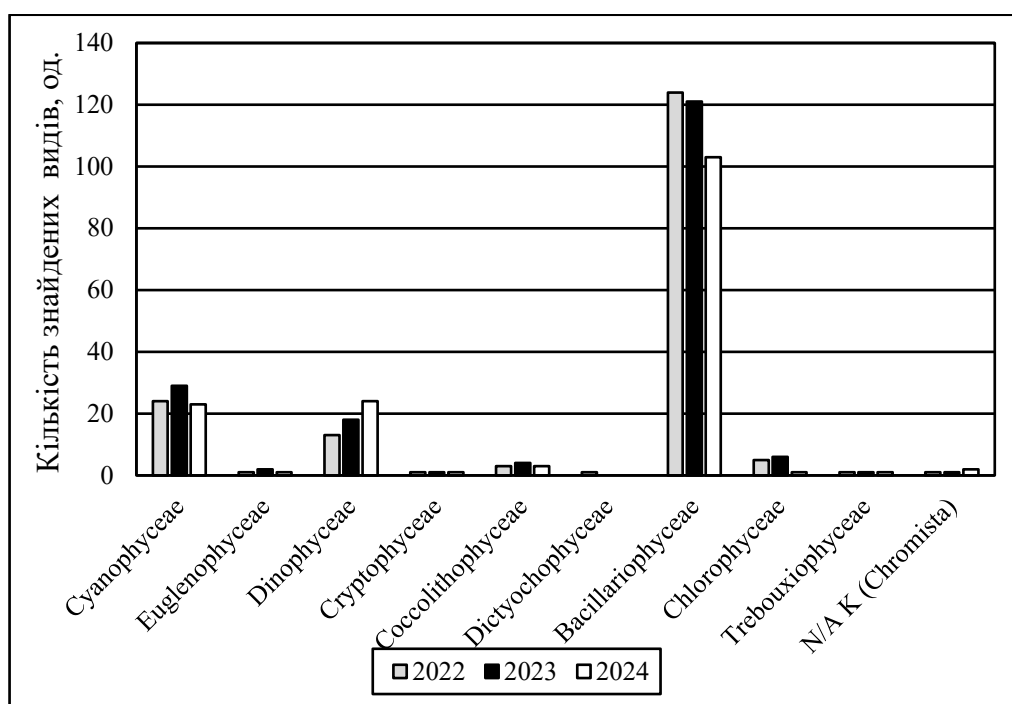


Рисунок 7 – Динаміка систематичних показників розвитку мікрофітобентосу Одеського прибережжя у 2022-2024 роках

У складі мікрофітобентосу більшість становили діатомеї родів *Nitzschia* – 11 видів, *Navicula* – 9, *Cocconeis* та *Halamphora* – по 6, *Chaetoceros* і *Licmophora* – по 5. Менш широко були представлені ціанопрокаріоти роду *Merismopedia* та дінофітові водорості роду *Gymnodinium* – по 4 види.

Стосовно місцеперебування в угрупованнях бентосних мікрофітів переважали представники обростань – 39,5 %. Це синьо-зелені водорості родів *Calothrix*, *Lyngbya*, *Leptolyngbya*, діатомеї родів *Achnanthes*, *Cocconeis*, *Nitzschia*, *Navicula*, *Licmophora*. Їхній вміст дещо зріс порівняно з минулими роками, тоді як донних форм, навпаки, знизився до 25,5 % (рис. 8). Водночас, відсоток планктонних видів у 2023 році збільшився до 36,3 %. Головним чином, за рахунок

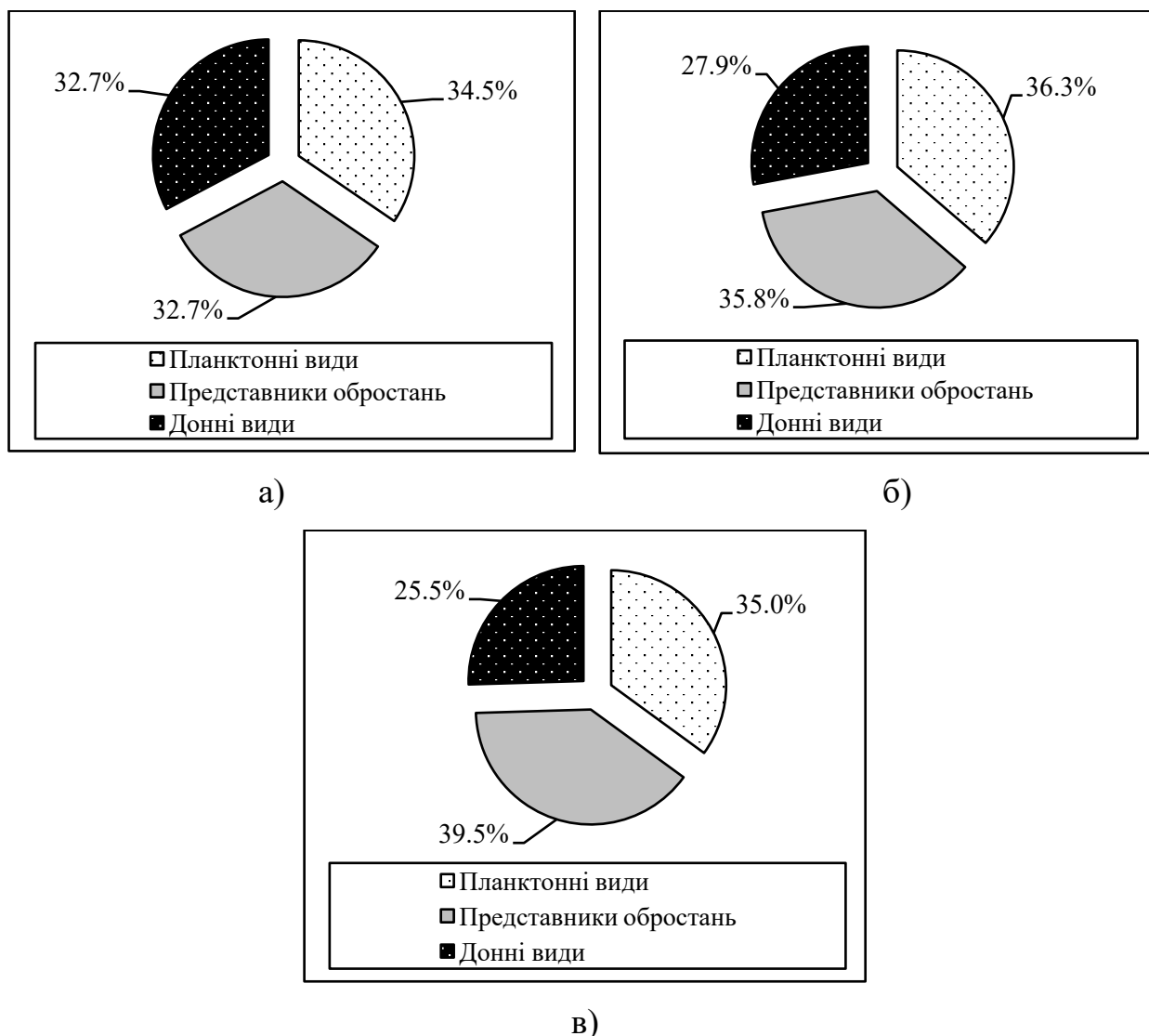


Рисунок 8 – Життєві форми мікрофітобентосу Одеського прибережжя в 2022 (а), 2023 (б) та 2024 (в) роках (у % від кількості знайдених видів)

прісноводних синьо-зелених та зелених водоростей, а у 2024 – зменшився до 35,0 % порівняно з даними 2022 року.

Як і торік, стосовно солоності води знайдені види мікрофітів були, здебільшого, полі- (38,6-48,9 %) та мезогалобами (25,2-28,6 %) (рис. 9). Полігалобами були діатомеї родів *Achnanthes*, *Amphora*, *Cocconeis*, *Halamphora*, *Licmophora*, *Lyrella*, *Pleurosigma*, а також більшість знайдених дінофітових водоростей. До мезогалобів належали ціанопрокаріоти родів *Lyngbya*, *Leptolyngbya*, діатомові родів *Nitzschia*, *Navicula*, *Tabularia*. Серед галофілів переважали синьо-

зелена водорість *Phormidium nigroviride* та діатомові *Planothidium delicatulum* і види роду *Diatoma*, серед індиферентів – ціанопрокаріоти *Oscillatoria limosa* і види родів *Chroococcus* та *Merismopedia*.

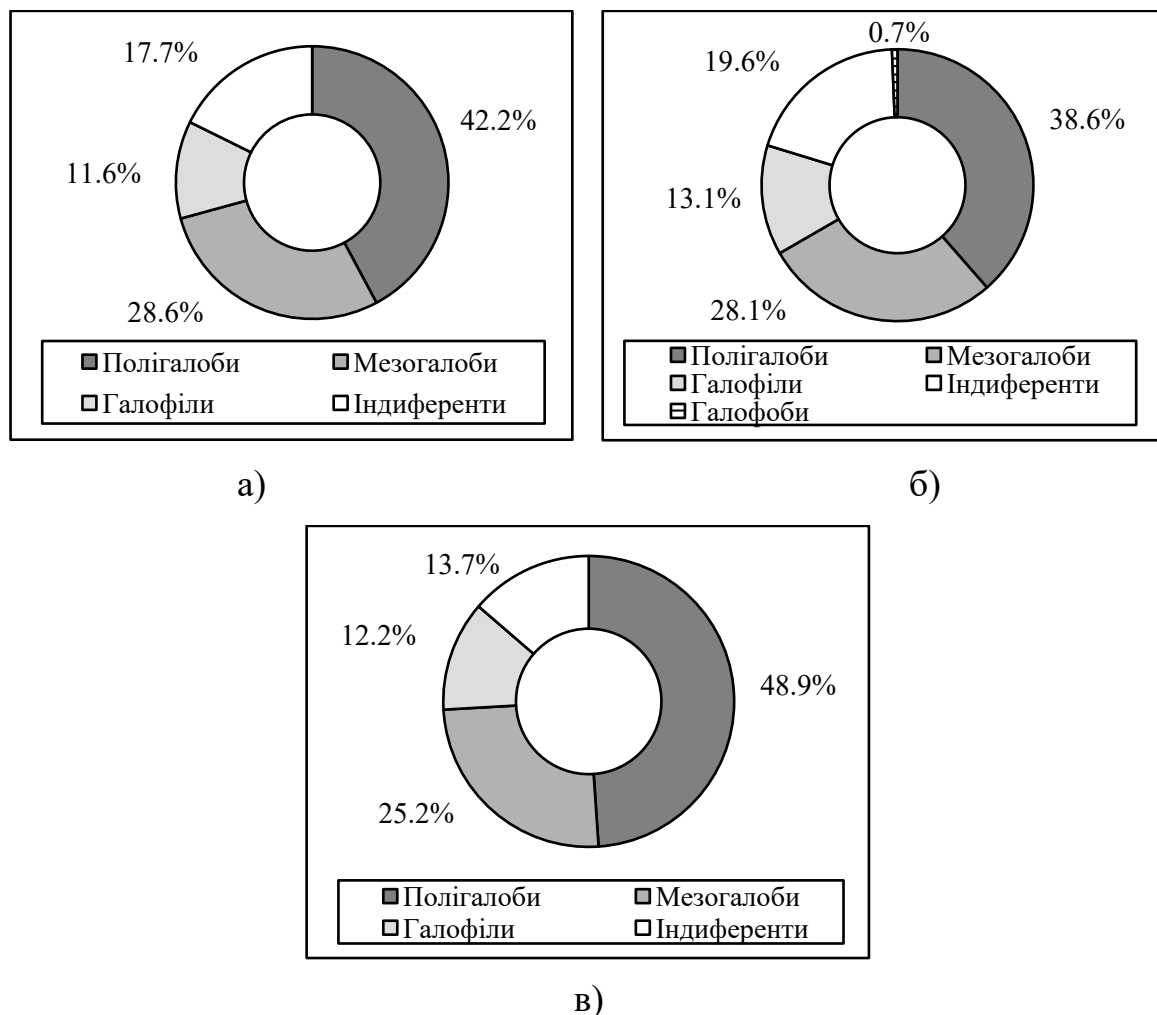


Рисунок 9 – Галобіонтний склад мікрофітобентосу Одеського прибережжя в 2022 (а), 2023 (б) та 2024 (в) роках (у % від кількості індикаторних видів)

Порівняно з 2023 роком відсоток полігалобів збільшився майже в 1,3, а індиферентів – знизився в 1,7 рази. Скоротився і вміст мезогалобів та галофілів.

Відносно органічного забруднення води знайдені види мікрроводоростей були, переважно, β -мезосапробами – 71,0 % (рис. 10). Наймасовішими були діатомеї: *Achnanthes brevipes*, *A. longipes* і види родів *Diatoma* та *Nitzschia*. Серед решти сапробіонтів найбільш інтенсивно вегетували α -мезосапробні діатомея *Tabularia fasciculata* і ціанопрокаріота *O. limosa*, β - α -мезосапробні синьо-зелені

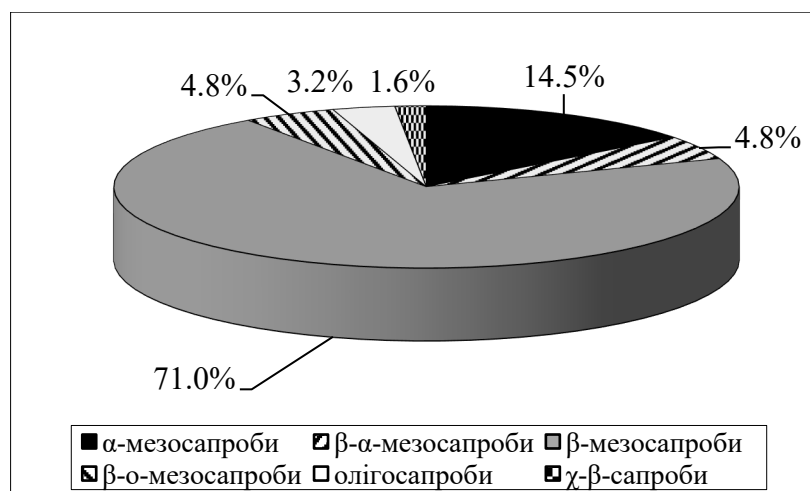


Рисунок 10 – Сапробіонтний склад мікрофітобентосу водного масиву CW5 у 2024 році (у % від кількості індикаторних видів)

водорості *Merismopedia glauca* і *M. tenuissima* та β-о-мезосапробні *L. fragilis* і *M. elegans*. Найбільш інтенсивний розвиток сапробіонтів, зокрема α-мезосапробів та β-α-мезосапробів, спостерігався в антропогенізованій та евтрофікованій акваторії яхт-клубу.

Загальна кількість видів-сапробіонтів у 2024 році скоротилася в 1,3 рази порівняно з минулорічними показниками, здебільшого, за рахунок β- і α-мезосапробів (рис. 11). Вміст β-α-мезосапробів зменшився в 1,7 рази.

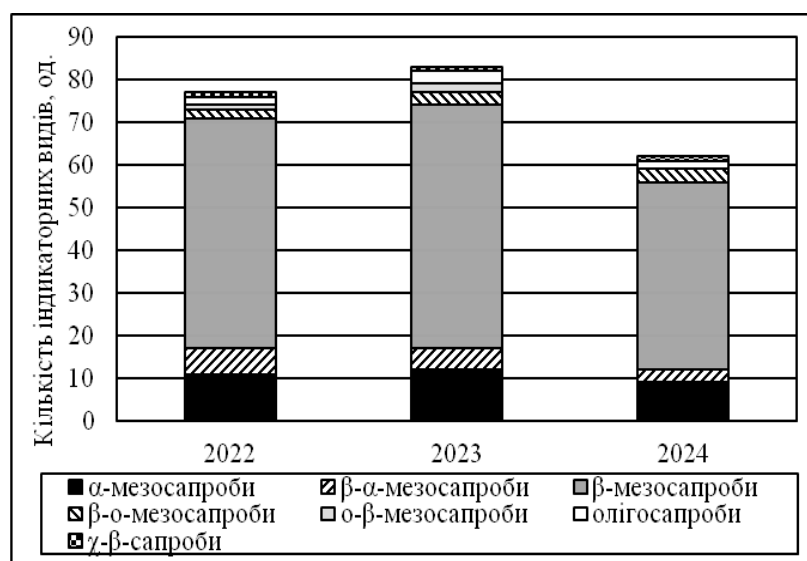


Рисунок 11 – Сапробіонтний склад мікрофітобентосу Одеського прибережжя в 2022-2024 роках

Протягом 2024 року спостерігалися аномальні клітини діатомей. Так, навесні в акваторії пляжу «Аркадія» на бетоні були знайдені опуклі клітини *A. brevipes*, а на піску – виїмчасті стулки *Cocconeis scutellum*. На бетонному субстраті з пляжу «Дельфін» в цей період були відмічені виїмчасті стулки *T. fasciculata*. Влітку на бетоні в яхт-клубі поодинокі траплялися аномальні стулки *Cocconeis costata* і *C. pediculus*, а восени там же на стулках мідій – деформовані клітини *Tabularia gaillonii*.

Кількість видів мікрофітів на твердих субстратах з акваторій CW5 навесні становила 32-50, влітку – коливалася від 29 до 46, восени – від 25 до 59 одиниць (табл. 10).

Таблиця 10 – Кількість видів водоростей мікрофітобентосу твердих субстратів у водному масиві CW5 у 2024 році

Місце відбору проб	Класи водоростей								
	Cyanophyceae	Euglenophyceae	Dinophyceae	Cryptophyceae	Coccolithophyceae	Bacillariophyceae	Chlorophyceae	N/A K (Chromista)	Всього
Весна									
Чорноморський яхт-клуб (бетон)	7	-	1	1	1	23	-	1	34
Пляж «Дельфін» (бетон)	4	-	3	1	1	39	1	1	50
Прибережжя мису Малий Фонтан (бетон)	8	-	1	1	1	20	-	1	32
Пляж «Аркадія» (бетон)	7	-	3	1	2	21	1	1	36
Літо									
Чорноморський яхт-клуб (бетон)	8	-	8	1	1	27	-	1	46
Чорноморський яхт-клуб (мідії)	5	-	3	1	2	28	1	1	41
Пляж «Дельфін» (бетон)	6	-	4	1	1	32	1	1	46
Пляж «Дельфін» (мідії)	4	-	1	1	1	20	1	1	29
Прибережжя мису Малий Фонтан (бетон)	9	-	4	1	2	14	1	1	32
Прибережжя мису Малий Фонтан (мідії)	6	-	2	1	1	28	1	1	40
Пляж «Аркадія» (бетон)	7	-	9	1	1	15	-	1	34
Осінь									
Чорноморський яхт-клуб (бетон)	11	1	2	1	1	12	-	1	29
Чорноморський яхт-клуб (мідії)	11	-	6	1	1	36	-	1	56
Пляж «Дельфін» (черепашник)	7	1	2	1	1	19	-	1	32
Прибережжя мису Малий Фонтан (бетон)	11	-	1	1	1	10	-	1	25
Прибережжя мису Малий Фонтан (мідії)	12	-	6	1	2	36	-	2	59
Пляж «Аркадія» (бетон)	10	-	3	1	1	12	-	1	28

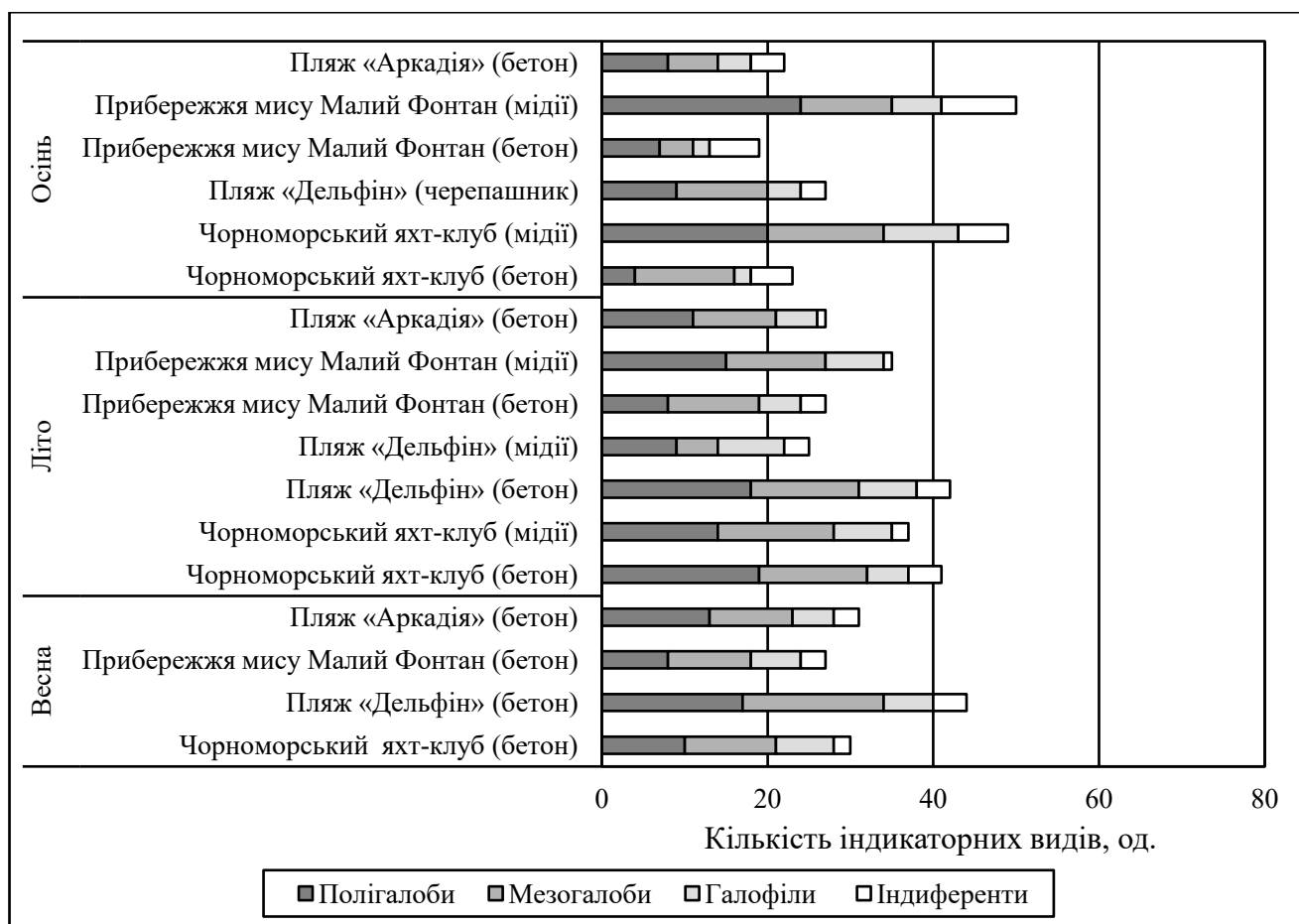
На піску навесні було 11-43 види мікрофітів, влітку їхня кількість зросла в 1,5-1,7 рази, а восени – знов скоротилася і варіювала від 16 до 42 видів (табл. 11).

Таблиця 11 – Кількість видів водоростей мікрофітобентосу піщаних субстратів у водному масиві CW5 у 2024 році

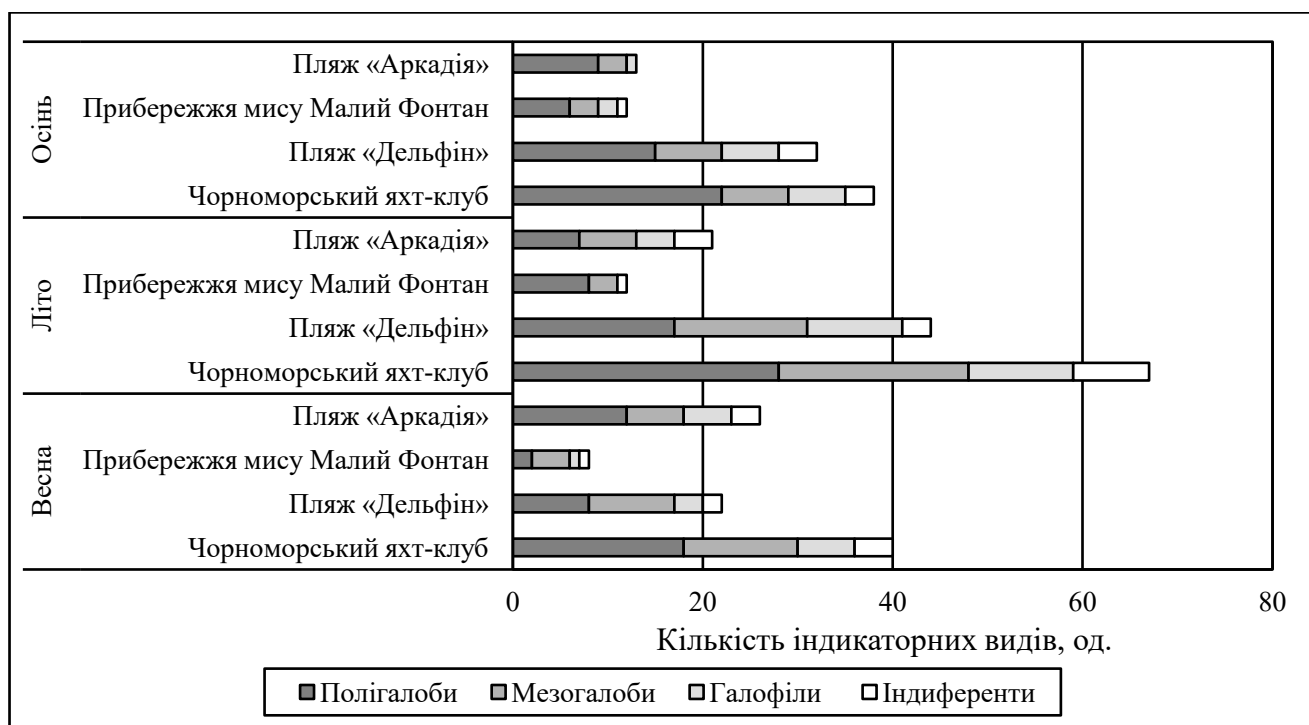
Місце відбору проб	Класи водоростей									
	Cyanophyceae	Euglenophyceae	Dinophyceae	Cryptophyceae	Coccolithophyceae	Bacillariophyceae	Chlorophyceae	Trebouxioophyceae	N/A K (Chromista)	Всього
Весна										
Чорноморський яхт-клуб	3	-	3	1	1	33	1	-	1	43
Пляж «Дельфін»	2	-	3	1	2	15	1	-	1	25
Прибережжя мису Малий Фонтан	2	-	1	1	1	4	1	-	1	11
Пляж «Аркадія»	2	-	2	1	1	21	1	-	1	29
Літо										
Чорноморський яхт-клуб	9	1	5	1	2	53		1	1	73
Пляж «Дельфін»	6	-	4	1	1	35	-	-	1	48
Прибережжя мису Малий Фонтан	3	-	3	1	2	6	-	-	1	16
Пляж «Аркадія»	4	1	3	1	2	11	1	-	1	24
Осінь										
Чорноморський яхт-клуб	4	-	7	1	2	27	-	-	1	42
Пляж «Дельфін»	6	-	5	1	1	23	-	-	1	37
Прибережжя мису Малий Фонтан	2	-	4	1	1	7	-	-	1	16
Пляж «Аркадія»	2	-	6	1	1	5	-	-	1	16

Найвищі систематичні показники розвитку бентосних мікрowodоростей були зареєстровані влітку на піску в акваторії яхт-клубу та восени на мідіях тут і в акваторії поблизу мису Малий Фонтан.

У галобіонтному складі мікрофітобентосу досліджених ділянок моря, здебільшого, переважали полігалофи. Їх було найбільше восени на стулках мідій коло мису Малий Фонтан і в акваторії Чорноморського яхт-клубу – 24 та 20 видів, відповідно (рис. 12 (а)), та влітку на піску в яхт-клубі – 28 (рис. 12 (б)). Мезогалофи домінували навесні біля мису Малий Фонтан і восени на бетоні в акваторії Чорноморського яхт-клубу (17 та 12 видів). Галофіли та індиференти були найширше представлені на стулках мідій в акваторіях яхт-клубу та прибережжя мису Малий Фонтан – по 9 видів.



а)



б)

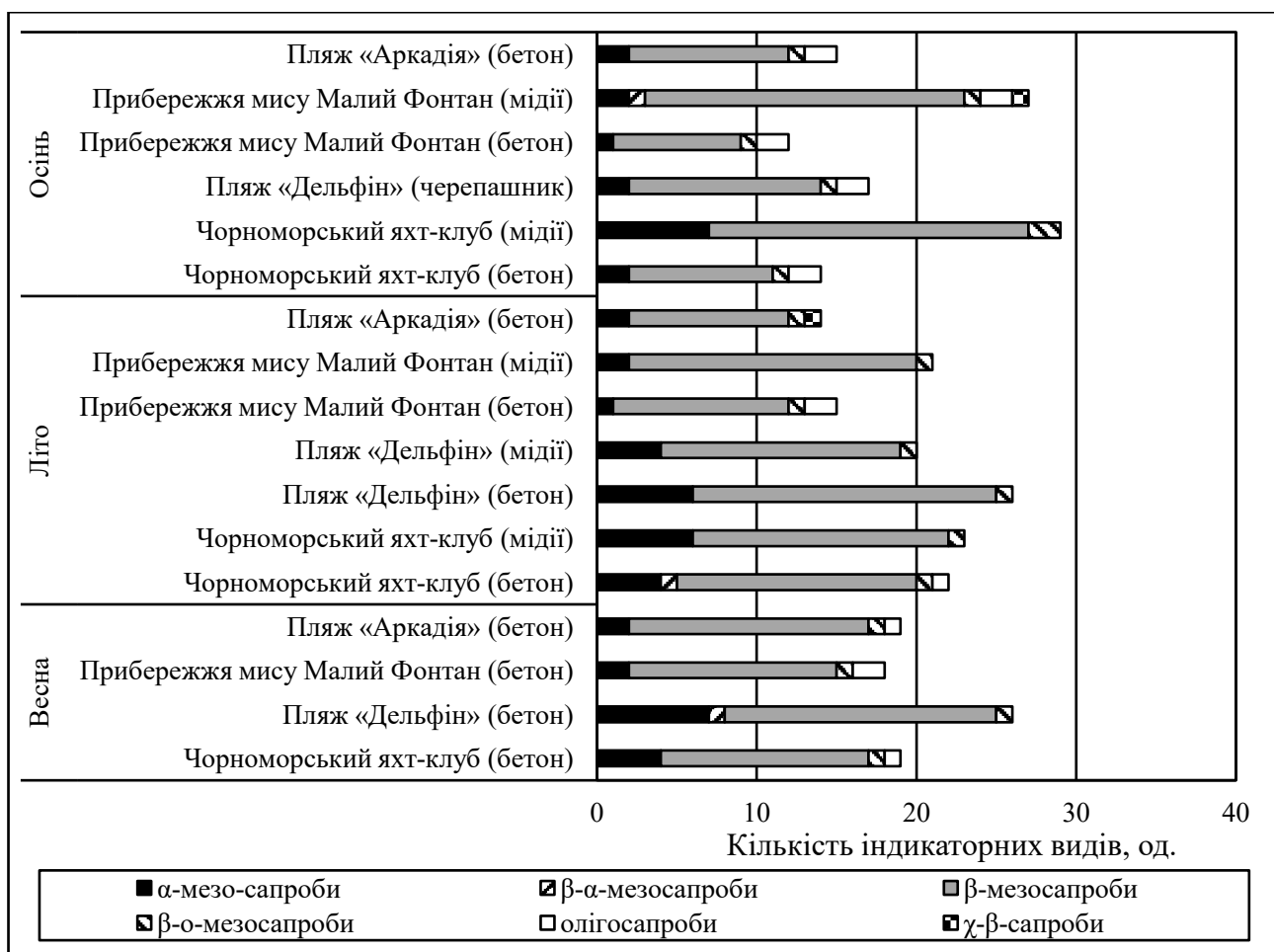
Рисунок 12–Галобіонтний склад мікрофітобентосу твердих (а) і піщаних (б) субстратів водного масиву CW5 у 2024 році

У сапробіонтному складі бентосних мікроводоростей повсюдно більшість становили β -мезосапроби (рис. 13), що вказує на помірний характер забруднення досліджених акваторій. Впродовж року на твердих субстратах їх нараховувалося від 8 до 20 видів. На піску їх було найменше біля мису Малий Фонтан (3-4 види) у літній та осінній періоди року, а найбільше – влітку в акваторії Чорноморського яхт-клубу (22 види). Найбільше сапробіонтів, зокрема α - та β - α -мезосапробів, зареєстровано впродовж року в акваторії Чорноморського яхт-клубу на обох типах субстратів. Багато α -мезосапробів було також влітку та восени на бетоні пляжу «Дельфін». Найменше – в прибережжях мису Малий Фонтан і пляжу «Аркадія». В ці сезони α -мезосапроби тут були відсутні і часто траплялися види – показники слабого забруднення: олігосапроби та χ - β -сапроби.

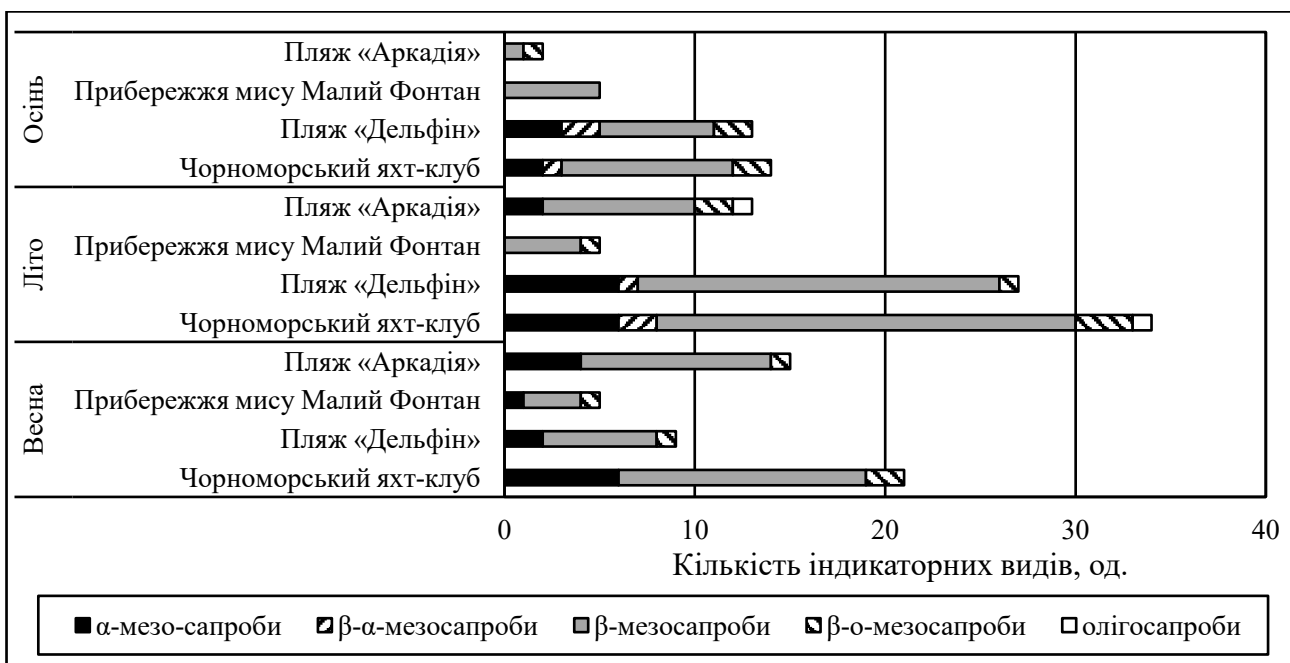
Чисельність мікрофітобентосу на твердих субстратах навесні становила 1 133,56-6 780,64 млн. кл./м², влітку вона зменшилась у 1,2-3,3 рази, а восени – зросла в 1,8-4,2 рази і коливалася від 1 447,58 до 10 121,45 млн. кл./м². (табл. 12). Найчисленнішими водорості були на бетоні: навесні та улітку в акваторії пляжу «Аркадія», а восени – в яхт-клубі, зокрема, за рахунок ціанопрокаріот *Calothrix scopulorum*, *L. fragilis*, *L. confervoides*, *O. limosa*.

На піску впродовж року чисельність бентосу була найвищою в яхт-клубі (1 541,43-4 584,03 млн. кл./м²), теж внаслідок розвитку синьо-зелених (але вже видів родів *Merismopedia* та *Microcystis*), а також діатомових водоростей (табл. 13). Влітку вона зросла в 1,7-3,0, а восени – зменшилась в 1,3-1,5 рази. Порівняно з 2023 роком в літній період показники чисельності мікрофітів були в 2,5-5,2 рази більшими на твердих субстратах.

Біомаса мікрофітів на твердих субстратах весною коливалася від 430,84 до 6 988,03 мг/м², в літній сезон вона зменшилась до 70,39-2 279,76 мг/м², а в осінній – становила 536,08-1 601,81 мг/м² (табл. 14). Навесні та влітку її формували діатомові водорості, а восени, здебільшого, синьо-зелені. У весняний період мікрофіти були наймасовішими на бетоні в акваторії пляжу «Дельфін», а у літній – на мідіях з пірсу у прибережжі мису Малий Фонтан. Восени найвищі біомаси відмічені на бетоні на пляжі «Аркадія» та мідіях з району мису Малий Фонтан.



а)



б)

Рисунок 13—Сапробіонтийний склад мікрофітобентосу твердих (а) і піщаних (б) субстратів водного масиву CW5 у 2024 році

Таблиця 12 – Чисельність (млн. кл. · м⁻²) мікрофітобентосу твердих субстратів у водному масиві CW5 у 2024 році

Місце відбору проб	Класи водоростей								
	Cyanophyceae	Euglenophyceae	Dinophyceae	Cryptophyceae	Coccolithophyceae	Bacillariophyceae	Chlorophyceae	N/A K (Chromista)	Всього
Весна									
Чорноморський яхт-клуб (бетон)	754,94	-	0,13	0,80	2,40	455,18	-	1,60	1 215,05
Пляж «Дельфін» (бетон)	425,20	-	0,53	0,80	0,80	703,70	0,80	1,73	1 133,56
Прибережжя мису Малий Фонтан (бетон)	5 261,99	-	0,27	0,67	0,80	67,80	-	2,67	5 334,20
Пляж «Аркадія» (бетон)	6 343,99	-	0,53	0,67	2,40	429,18	0,40	3,47	6 780,64
Літо									
Чорноморський яхт-клуб (бетон)	1 619,50	-	4,26	3,33	2,67	102,22	-	6,00	1 738,58
Чорноморський яхт-клуб (мідії)	399,53	-	2,20	0,77	1,48	63,09	0,09	1,63	468,79
Пляж «Дельфін» (бетон)	650,54	-	1,89	0,13	2,00	349,62	0,13	3,10	1 007,41
Пляж «Дельфін» (мідії)	382,30	-	0,17	1,67	2,17	74,63	0,17	2,67	463,78
Прибережжя мису Малий Фонтан (бетон)	3 029,07	-	0,93	0,93	2,00	284,78	0,53	3,47	3 321,71
Прибережжя мису Малий Фонтан (мідії)	318,19	-	2,00	0,40	1,62	21,56	0,10	1,67	345,54
Пляж «Аркадія» (бетон)	5 489,86	-	2,25	0,67	1,33	18,66	-	2,27	5 515,04
Осінь									
Чорноморський яхт-клуб (бетон)	10 075,56	0,13	0,93	0,40	2,13	37,20	-	5,10	10 121,45
Чорноморський яхт-клуб (мідії)	1 249,36	-	1,47	1,16	1,62	186,47	-	7,50	1 447,58
Пляж «Дельфін» (черепашник)	1 434,96	0,13	4,00	0,53	1,47	967,86	-	4,13	2 413,08
Прибережжя мису Малий Фонтан (бетон)	4 477,48	-	0,13	0,80	2,13	89,74	-	3,60	4 573,88
Прибережжя мису Малий Фонтан (мідії)	1 735,15	-	0,91	2,30	2,03	173,05	-	8,59	1 922,03
Пляж «Аркадія» (бетон)	9 863,17	-	3,90	0,93	4,13	5,72	-	4,27	9 882,12

Таблиця 13 – Чисельність (млн. кл. · м⁻²) мікрофітобентосу піщаних субстратів у водному масиві CW5 у 2024 році

Місце відбору проб	Класи водоростей									
	Cyanophyceae	Euglenophyceae	Dinophyceae	Cryptophyceae	Coccolithophyceae	Bacillariophyceae	Chlorophyceae	Trebouxioophyceae	N/A K (Chromista)	Всього
Весна										
Чорноморський яхт-клуб	1 206,89	-	10,01	8,13	4,38	301,37	1,26	-	9,39	1 541,43
Пляж «Дельфін»	1 134,27	-	5,00	5,63	1,88	44,41	1,26	-	6,89	1 199,34
Прибережжя мису Малий Фонтан	935,21	-	0,62	2,50	3,14	10,66	1,26	-	3,76	957,15
Пляж «Аркадія»	1 231,93	-	3,12	2,50	5,00	110,73	0,62	-	5,63	1 359,53
Літо										
Чорноморський яхт-клуб	2 646,06	21,92	9,38	16,90	16,90	1 824,04	2,50	-	46,33	4 584,03
Пляж «Дельфін»	2 828,11	-	10,66	8,13	11,89	859,52	-	-	18,16	3 736,47
Прибережжя мису Малий Фонтан	1 549,27	-	3,14	4,38	8,13	15,03	-	-	8,77	1 588,72
Пляж «Аркадія»	1 915,75	0,62	5,64	6,89	4,40	35,01	0,62	-	11,27	1 980,20
Осінь										
Чорноморський яхт-клуб	2 742,54	-	36,94	7,51	11,91	241,59	-	-	13,77	3 054,26
Пляж «Дельфін»	2 542,07	-	26,27	2,50	5,63	108,95	-	-	8,77	2 694,19
Прибережжя мису Малий Фонтан	1 256,96	-	5,00	3,76	7,51	10,62	-	-	10,65	1 294,50
Пляж «Аркадія»	1 173,71	-	8,14	8,77	5,00	6,88	-	-	10,00	1 212,50

Таблиця 14 – Біомаса ($\text{мг} \cdot \text{м}^{-2}$) мікрофітобентосу твердих субстратів у водному масиві CW5 у 2024 році

Місце відбору проб	Класи водоростей								
	Cyanophyceae	Euglenophyceae	Dinophyceae	Cryptophyceae	Coccolithophyceae	Bacillariophyceae	Chlorophyceae	N/A K (Chromista)	Всього
Весна									
Чорноморський яхт-клуб (бетон)	31,00	-	0,24	0,08	0,16	2 171,56	-	0,10	2 203,14
Пляж «Дельфін» (бетон)	15,60	-	5,64	0,08	0,05	6 966,35	0,20	0,11	6 988,03
Прибережжя мису Малий Фонтан (бетон)	274,67	-	0,50	0,06	0,05	155,39	-	0,17	430,84
Пляж «Аркадія» (бетон)	839,47	-	2,51	0,06	3,80	2 863,68	0,07	0,23	3 709,82
Літо									
Чорноморський яхт-клуб (бетон)	77,67	-	44,31	0,31	0,17	235,20	-	0,39	358,05
Чорноморський яхт-клуб (мідії)	7,44	-	15,67	0,07	0,27	114,91	0,03	0,11	138,50
Пляж «Дельфін» (бетон)	13,11	-	15,22	0,01	0,13	2 251,06	0,03	0,20	2 279,76
Пляж «Дельфін» (стулки мідій)	4,56	-	1,67	0,16	0,14	169,14	0,04	0,17	175,88
Прибережжя мису Малий Фонтан (бетон)	111,30	-	4,73	0,09	0,66	203,68	0,13	0,23	320,82
Прибережжя мису Малий Фонтан (мідії)	9,37	-	0,66	0,04	0,11	60,07	0,03	0,11	70,39
Пляж «Аркадія» (бетон)	263,29	-	17,81	0,06	0,09	77,34	-	0,15	358,74
Осінь									
Чорноморський яхт-клуб (бетон)	1 052,94	0,10	5,22	0,04	0,14	106,48	-	0,33	1 165,25
Чорноморський яхт-клуб (мідії)	94,64	-	15,09	0,11	0,11	1 165,16	-	0,49	1 275,60
Пляж «Дельфін» (черепашиник)	26,38	0,15	8,50	0,05	0,10	500,83	-	0,27	536,08
Прибережжя мису Малий Фонтан (бетон)	438,51	-	0,78	0,08	0,14	264,12	-	0,24	703,87
Прибережжя мису Малий Фонтан (мідії)	202,74	-	4,43	0,22	0,27	1 150,95	-	0,60	1 359,21
Пляж «Аркадія» (бетон)	1 581,92	-	0,66	0,09	0,27	18,59	-	0,28	1 601,81

На піщаних ґрунтах біомаса мікроводоростей навесні становила 24,79-767,97 мг/м², влітку вона зросла у 2,9-12,0 раз і сягала 71,29-9 243,62, а восени – скоротилася у 2,6-14,2 рази і становила 27,49-651,48 мг/м² (табл. 15). На відміну від твердих субстратів, її цілорічно створювали діатомові водорості. Їх розвиток був найбільш інтенсивним влітку на акваторіях яхт-клубу та пляжу «Дельфін».

За отриманими показниками біомаси мікрофітобентосу на твердих субстратах (відповідно до характеристики трофності водних об'єктів України [50]), довкілля більшості досліджених ділянок ПЗЧМ впродовж 2024 року належало, переважно, до класів «евтрофне» та «мезотрофне», а на піщаних ґрунтах – до класів «мезотрофне» та «оліготрофне».

Отже, впродовж 2024 року в досліджених ділянках водного масиву CW5 систематичні та кількісні показники розвитку мікрофітобентосу були досить високими. Видовий склад мікрофітобентосу різних субстратів тут створювали, здебільшого, полі- та мезогалобні і β-мезосапробні діатомеї. Рідше зустрічалися ціанопрокаріоти і дінофітові водорості. Розвиток видів α-мезосапробів був більш інтенсивним в антропогенізованій морській ділянці Чорноморського яхт-клубу.

5.2 Оцінка екологічного стану довкілля у водному масиві CW5 за трофністю та сапробністю донних мікроводоростей

У 2024 році була проведена оцінка екологічного стану довкілля водного масиву CW5 за шкалами та класами трофності [50] та сапробності [17] по показниках загальної чисельності клітин водоростей (див. табл. 12) та кількості видів α-мезосапробів (див. рис. 13 (а)) в угрупованнях мікрофітобентосу твердих субстратів, як індикаторних характеристик відгуків цих чутливих організмів-моніторів на умови мешкання у різних ділянках ПЗЧМ (табл. 16-17).

За показниками загальної чисельності мікрофітобентосу твердих субстратів досліджені морські акваторії були, здебільшого, мезотрофними, що цілком

Таблиця 15 – Біомаса ($\text{мг} \cdot \text{м}^{-2}$) мікрофітобентосу піщаних субстратів у водному масиві CW5 в 2024 році

Місце відбору проб	Класи водоростей									
	Cyanophyceae	Euglenophyceae	Dinophyceae	Cryptophyceae	Coccolithophyceae	Bacillariophyceae	Chlorophyceae	Trebouxioophyceae	N/A K (Chromista)	Всього
Весна										
Чорноморський яхт-клуб	25,62	-	20,71	0,77	0,29	719,65	0,32	-	0,61	767,97
Пляж «Дельфін»	6,89	-	11,56	0,53	0,40	86,06	0,32	-	0,45	106,21
Прибережжя мису Малий Фонтан	7,45	-	1,66	0,24	0,21	14,66	0,32	-	0,25	24,79
Пляж «Аркадія»	16,87	-	22,51	0,24	0,33	326,84	0,16	-	0,37	367,32
Літо										
Чорноморський яхт-клуб	78,80	22,91	46,79	1,59	1,61	9 087,61	1,31	-	3,00	9 243,62
Пляж «Дельфін»	54,67	-	49,90	0,77	0,78	4 106,72	-	-	1,19	4 214,03
Прибережжя мису Малий Фонтан	10,80	-	12,41	0,41	0,81	46,29	-	-	0,57	71,29
Пляж «Аркадія»	19,00	0,49	6,22	0,65	0,87	36,38	0,16	-	0,74	64,51
Осінь										
Чорноморський яхт-клуб	51,81	-	224,65	0,71	1,36	572,05	-	-	0,90	651,48
Пляж «Дельфін»	29,08	-	93,17	0,24	0,37	455,62	-	-	0,57	579,05
Прибережжя мису Малий Фонтан	8,97	-	8,96	0,35	0,49	8,02	-	-	0,70	27,49
Пляж «Аркадія»	9,02	-	28,35	0,83	0,33	8,42	-	-	0,65	47,60

Таблиця 16 – Оцінка екологічного стану довкілля водного масиву CW5
у 2024 році за шкалою та класами трофності [77] по чисельності
мікрофітобентосу твердих субстратів (10^6 кл. $\cdot$ м $^{-2}$)

Клас екологічного стану вод		1	2	3	4	5
		Відмінний (high)	Добрий (good)	Задовільний (moderate)	Посередній (poor)	Погакий (bad)
Місце відбору проб	Кольоровий код	синій	зелений	жовтий	оранжевий	червоний
	Класи трофності	Оліготрофний	Мезотрофний	Евтрофний	Політрофний	Гіпертрофний
	Шкала трофності, млн. кл/м 2	$0,10 \cdot 10^3 - 0,49 \cdot 10^3$	$0,50 \cdot 10^3 - 14,99 \cdot 10^3$	$15,00 \cdot 10^3 - 49,99 \cdot 10^3$	$50,00 \cdot 10^3 - 199,99 \cdot 10^3$	$\geq 200,00 \cdot 10^3$
Чорноморський яхт-клуб (пірс)	Весна		$1,22 \cdot 10^3$			
	Літо		$1,74 \cdot 10^3$			
	Осінь		$10,12 \cdot 10^3$			
Чорноморський яхт-клуб (мідії)	Весна					
	Літо	$0,47 \cdot 10^3$				
	Осінь		$1,45 \cdot 10^3$			
Пляж «Дельфін» (пірс)	Весна		$1,13 \cdot 10^3$			
	Літо		$1,01 \cdot 10^3$			
	Осінь					
Пляж «Дельфін» (камінь)	Весна					
	Літо					
	Осінь		$2,41 \cdot 10^3$			
Пляж «Дельфін» (мідії)	Весна					
	Літо	$0,46 \cdot 10^3$				
	Осінь					
Прибережжя мису Малий Фонтан (пірс)	Весна		$5,33 \cdot 10^3$			
	Літо		$3,32 \cdot 10^3$			
	Осінь		$4,57 \cdot 10^3$			
Прибережжя мису Малий Фонтан (мідії)	Весна					
	Літо	$0,34 \cdot 10^3$				
	Осінь		$1,92 \cdot 10^3$			
Пляж «Аркадія» (пірс)	Весна		$6,78 \cdot 10^3$			
	Літо		$5,51 \cdot 10^3$			
	Осінь		$9,88 \cdot 10^3$			

Таблиця 17 – Оцінка екологічного стану довкілля у водному масиві CW5
в 2024 році за шкалою та рівнем сапробності [21] по кількості
видів α -мезосапробів у мікрофітобентосі твердих субстратів

Клас екологічного стану вод		1	2	3	4	5
		Відмінний (high)	Добрий (good)	Задовільний (moderate)	Посередній (poor)	Погааний (bad)
Місце відбору проб	Кольоровий код	синій	зелений	жовтий	оранжевий	червоний
	Рівень сапробності	Олігосапробний	β -мезосапробний	α -мезосапробний	Полісапробний	Гіперсапробний
	Кількість α -мезосапробних видів, од.	0,0-1,0	2,0-4,0	5,0-7,0	8,0-10,0	$\geq 11,0$
Чорноморський яхт-клуб (пірс)	Весна		4			
	Літо		4			
	Осінь		2			
Чорноморський яхт-клуб (мідії)	Весна					
	Літо			6		
	Осінь			7		
Пляж «Дельфін» (пірс)	Весна			7		
	Літо			6		
	Осінь					
Пляж «Дельфін» (камінь)	Весна					
	Літо					
	Осінь		2			
Пляж «Дельфін» (мідії)	Весна					
	Літо		4			
	Осінь					
Прибережжя мису Малий Фонтан (пірс)	Весна		2			
	Літо	1				
	Осінь	1				
Прибережжя мису Малий Фонтан (мідії)	Весна					
	Літо		2			
	Осінь		2			
Пляж «Аркадія» (пірс)	Весна		2			
	Літо		2			
	Осінь		2			

відповідає «доброму» екологічному стану вод. Виняток становили низькі показники чисельності мікроводоростей влітку на стулках мідій в акваторіях яхт-

клубу, пляжу «Дельфін» та у прибережжі мису Малий Фонтан, де суміжне з цими субстратами водне середовище відповідало класу «відмінний».

Згідно з WFD, наявність або відсутність індикаторних видів можуть бути важливими параметрами для досліджень реакції водної флори на зміни умов у оточуючому їх середовищі. Показник кількості α -мезосапробних видів в угрупованні мікрофітобентосу був застосований для оцінки екологічної якості довкілля (див. 2). Він відображує зв'язок між сапробністю і трофністю та чітко показує ступінь евтрофікації досліджених ділянок прибережжя ПЗЧМ.

За вмістом α -мезосапробів на твердих субстратах у 2024 році досліджені морські ділянки, здебільшого, були β - і α -мезосапробних рівнів (див. рис. 13 (а)), тобто мали «добрий» та «задовільний» екологічний стан. Частини акваторій, де α -мезосапроби були відсутні або представлені 1 видом, належали до олігосапробних, тобто їхній екологічний стан був «відмінним». Впродовж року вміст цих індикаторних мікрофітів підвищувався у більшості досліджених ділянок водного масиву CW5. Найвища кількість видів α -мезосапробів (показників значного органічного забруднення) була влітку та восени 2024 року на мідіях з пірсу яхт-клубу, а також навесні та в літній сезон на бетоні в акваторії пляжу «Дельфін», що вказує на «задовільний» екологічний стан даних акваторій. А всього по 1 представнику цієї екологічної групи було знайдено на бетоні в прибережжі мису Малий Фонтан в літній та осінній періоди. Це свідчить про те, що дана ділянка моря залишається умовно чистою акваторією водного масиву CW5.

5.3. Ретроспективна оцінка якості довкілля прибережжя ПЗЧМ за станом мікрофітобентосу

Навесні 2024 року кількість видів бентосних мікрофітів в акваторії Чорноморського яхт-клубу на бетоні суттєво не змінилась. На піску вона зросла в 1,3 рази відносно 2023 року, здебільшого, внаслідок розвитку діатомей (табл. 18).

Таблиця 18 – Систематичні та кількісні показники розвитку мікрофітобентосу Чорноморського яхт-клубу
у весняні періоди 2023-2024 років

Місце відбору проб	Роки	Класиводоростей								
		Суанophyceae	Euglenophyceae	Dinophyceae	Cryptophyceae	Coccolithophyceae	Bacillariophyceae	Chlorophyceae	N/A K (Chromista)	Всього
Кількість видів (од.)										
Пірс, бетон	2023	7	-	2	1	2	21	1	1	35
	2024	7	-	1	1	1	23	-	1	34
Прибережжя, пісок	2023	4	-	2	1	1	24	-	1	33
	2024	3	-	3	1	1	33	1	1	43
Чисельність (млн. кл. · м ⁻²)										
Пірс, бетон	2023	3 265,99	-	0,40	1,20	2,93	651,31	0,13	3,20	3 925,16
	2024	754,94	-	0,13	0,80	2,40	455,18	-	1,60	1 215,05
Прибережжя, пісок	2023	676,05	-	3,12	7,49	2,50	142,04	-	10,65	841,85
	2024	1 206,89	-	10,01	8,13	4,38	301,37	1,26	9,39	1 541,43
Біомаса (мг · м ⁻²)										
Пірс, бетон	2023	232,37	-	0,96	0,11	0,56	1 247,25	0,03	0,21	1 481,49
	2024	31,00	-	0,24	0,08	0,16	2 171,56	-	0,10	2 203,14
Прибережжя, пісок	2023	8,00	-	7,00	0,71	0,16	429,67	-	0,70	446,24
	2024	25,62	-	20,71	0,77	0,29	719,65	0,32	0,61	767,97

Влітку порівняно з минулим роком кількість видів мікрофітів дещо зменшилася, переважно, за рахунок ціанопрокаріот та діатомей, тоді як кількість видів дінофітових водоростей майже повсюдно зростала (табл. 19).

Таблиця 19 – Кількість видів водоростей мікрофітобентосу у водних масивах CW5 та CW6 в літні періоди 2021-2024 років

Місце відбору проб	Роки	Класи водоростей										Всього
		Cyanophyceae	Euglenophyceae	Dinophyceae	Cryptophyceae	Coccolithophyceae	Dictyochophyceae	Bacillariophyceae	Chlorophyceae	Trebouxioophyceae	N/A K (Chromista)	
Одеський порт, CW6 (мул)	2022	11	-	3	1	2	1	74	5	1	1	99
Чорноморський яхт-клуб, CW5 (бетон)	2022	12	-	2	1	2	-	36	-	-	1	54
	2023	7	-	2	1	1	-	7	-	-	1	19
	2024	8	-	8	1	1	-	27	-	-	1	46
Чорноморський яхт-клуб, CW5 (пластик)	2022	11	-	2	1	2	-	50	-	-	1	67
	2023	15	-	1	1	2	-	18	2	-	1	40
Чорноморський яхт-клуб, CW5 (мідії)	2023	15	-	4	1	3	-	44	3	-	1	71
	2024	5	-	3	1	2	-	28	1	-	1	41
Чорноморський яхт-клуб, CW5 (пісок)	2022	11	1	8	1	2	-	57	1	-	1	82
	2023	10	1	2	1	1	-	35	1	1	1	53
	2024	9	1	5	1	2	-	53	-	1	1	73
Пляж «Дельфін», CW5 (бетон)	2021	10	1	2	1	1	-	14	1	-	1	31
	2024	6	-	4	1	1	-	32	1	-	1	46
Пляж «Дельфін», CW5 (пісок)	2021	4	1	1	1	1	-	29	1	-	1	39
	2024	6	-	4	1	1	-	35	-	-	1	48
Прибережжя мису Малий Фонтан, CW5 (бетон)	2021	7	-	2	1	1	-	3	-	-	1	15
	2023	11	-	2	1	1	-	3	-	-	1	19
	2024	9	-	4	1	2	-	14	1	-	1	32
Прибережжя мису Малий Фонтан, CW5 (мідії)	2021	7	-	2	1	1	-	44	1	-	1	57
	2023	16	-	2	1	3	-	41	1	-	1	65
	2024	6	-	2	1	1	-	28	1	-	1	40
Прибережжя мису Малий Фонтан, CW5 (пісок)	2021	2	-	-	1	1	-	11	-	-	1	16
	2023	6	1	1	1	2	-	8	1	-	1	21
	2024	3	-	3	1	2	-	6	-	-	1	16
Пляж «Аркадія», CW5 (бетон)	2021	9	1	1	1	1	-	22	1	-	1	37
	2024	7	-	9	1	1	-	15	-	-	1	34
Пляж «Аркадія», CW5 (пісок)	2021	3	1	2	1	1	-	17	-	-	1	26
	2024	4	1	3	1	2	-	11	1	-	1	24

Так, влітку 2024 року в акваторії яхт-клубу кількість видів ціанопротокариот на стулках мідій зменшилась втричі порівняно з 2023 роком, діатомей – в 1,6 рази. На мідіях з мису Малий Фонтан їх кількість знизилася у 2,6 та 1,5 рази, відповідно. Водночас, в яхт-клубі на піску вміст видів дінофітових водоростей зріс у 2,5 рази, на пляжі «Дельфін» на бетоні – вдвічі та на піску – вчетверо.

Така ж ситуація спостерігалась і в осінні сезони. Якщо в 2023 році кількість видів синьо-зелених водоростей зростала в 1,4 рази на піску та на пластику в прибережжі яхт-клубу, то в 2024 році на піску в цій акваторії їх було втричі, а біля мису Малий Фонтан – в 2,5 рази менше (табл. 20).

На бетоні та на піску пляжу «Аркадія» видів діатомей стало менше в 1,7-3,0, а на цих субстратах в яхт-клубі – в 1,3 та 1,6 рази. Дінофітових водоростей, навпаки, стало в 1,5-2,0 рази більше на мідіях з мису Малий Фонтан і яхт-клубу.

Навесні 2024 року показники кількості видів полі- та мезогалобів в угрупованні мікрофітобентосу яхт-клубу на піску в 1,3-1,5 рази перевищували минулорічні результати досліджень (табл. 21). Також у весняний період на обох типах субстратів в 1,4 та 1,5 рази збільшився вміст галофілів порівняно з 2023 роком.

Впродовж 2021-2024 років у складі мікрофітобентосу прибережжя ПЗЧМ повсюдно переважали полі- та мезогалоби. Влітку 2022 року найбільше полігалобів було на пухких субстратах в акваторіях Одеського порту і Чорноморського яхт-клубу. Кількість цих галобіонтів зменшилась у 2023 році через зниження солоності внаслідок руйнування греблі Каховської ГЕС та зросла впродовж 2024 року. Їхня кількість була мінімальною влітку на піску в акваторії біля мису Малий Фонтан, тоді як в 2024 році вона тут зросла вдвічі, а у морській ділянці біля яхт-клубу – в 2,3 рази (рис. 14). Водночас, в 2023 році на більшості досліджених акваторій вміст галофілів та індіферентів збільшився порівняно з 2021 та 2022 роками. А у 2024 році сталося деяке зменшення кількості олігогалобних видів (тобто, саме галофілів та індіферентів як показників опріснення води).

Таблиця 20 – Кількість видів водоростей мікрофітобентосу у водному масиві CW5 в осінні періоди 2021-2024 років

Місце відбору проб	Роки	Класи водоростей								
		Cyanophyceae	Euglenophyceae	Dinophyceae	Cryptophyceae	Soccolithophyceae	Bacillariophyceae	Chlorophyceae	N/A K (Chromista)	Всього
Чорноморський яхт-клуб (бетон)	2022	10	-	3	1	1	65	-	1	81
	2023	12	-	2	1	1	16	-	1	33
	2024	11	1	2	1	1	12	-	1	29
Чорноморський яхт-клуб (пластик)	2022	9	-	3	1	2	64	-	1	80
	2023	13	1	1	1	2	11	1	1	31
Чорноморський яхт-клуб (мідії)	2023	16	-	3	1	3	42	1	1	67
	2024	11	-	6	1	1	36	-	1	56
Чорноморський яхт-клуб (пісок)	2022	9	1	7	1	1	58	1	1	79
	2023	13	1	9	1	3	41	1	1	70
	2024	4	-	7	1	2	27	-	1	42
Пляж «Дельфін» (черепашник)	2021	8	-	4	1	1	11	-	1	26
	2024	7	1	2	1	1	19	-	1	32
Пляж «Дельфін» (пісок)	2021	3	1	3	1	1	30	1	1	41
	2024	6	-	5	1	1	23	-	1	37
Прибережжя мису Малий Фонтан (бетон)	2021	10	-	3	1	1	23	1	1	40
	2023	11	-	1	1	2	9	-	1	25
	2024	11	-	1	1	1	10	-	1	25
Прибережжя мису Малий Фонтан (мідії)	2021	8	-	7	1	1	50	1	1	69
	2023	11	-	4	1	3	31	-	1	51
	2024	12	-	6	1	2	36	-	2	59
Прибережжя мису Малий Фонтан (пісок)	2021	4	-	4	1	2	12	1	1	25
	2023	5	-	2	1	1	17	-	1	27
	2024	2	-	4	1	1	7	-	1	16
Пляж «Аркадія» (бетон)	2021	9	-	4	1	1	22	-	1	38
	2023	10	-	2	1	2	20	-	1	36
	2024	10	-	3	1	1	12	-	1	28
Пляж «Аркадія» (пісок)	2021	8	-	5	1	2	20	1	1	38
	2023	3	-	5	1	2	15	-	1	27
	2024	2	-	6	1	1	5	-	1	16

Таблиця 21 – Галобіонтний та сапробіонтний склад мікрофітобентосу
Чорноморського яхт-клубу у весняні періоди 2023-2024 років

Кількість індикаторних видів, од.	Місце відбору проб			
	Пірс, бетон		Прибережжя, пісок	
	2023	2024	2024	2024
Галобіонтний склад:				
Полігалоби	12	10	14	18
Мезогалоби	10	11	8	12
Галофіли	5	7	4	6
Індиференти	4	2	3	4
Всього	31	30	29	40
Сапробіонтний склад:				
α -мезосапроби	4	4	4	6
β -мезосапроби	9	13	6	13
β -о-мезосапроби	1	1	2	2
олігосапроби	2	1	1	-
Всього	16	19	13	21

Аналогічна ситуація спостерігалася в Одеському прибережжі й в осінні періоди 2021-2024 років. Найбільше видів-полігалобів було в 2021 році на стулках мідій з акваторії біля мису Малий Фонтан і в 2022 – на пластику та бетоні в яхт-клубі (рис. 15). У 2023 році коло мису Малий Фонтан вона знизилась вдвічі, а в яхт-клубі – вчетверо. Восени 2024 року на мідіях та на бетоні з мису Малий Фонтан вміст полігалобів перевищив минулорічні показники в 1,4-1,8 рази, відповідно.

У сапробіонтному складі мікрофітобентосу майже повсюдно переважали β -мезосапроби. Навесні їх кількість в акваторії яхт-клубу (порівняно з минулим роком) зросла в 1,4 та 2,2 рази на бетоні та піску (див. табл. 21). Вміст α -мезосапробів на бетоні не змінився, а на піску – зріс в 1,5 рази.

Кількість сапробіонтів, зокрема α -мезосапробів, була максимальною влітку 2022 року в акваторії Одеського порту на мулистому субстраті (рис. 16). Досить високою вона була також у морській ділянці біля яхт-клубу в літні періоди 2022-2024 років. Мінімальна кількість сапробіонтів за відсутності α -мезосапробів була притаманна угрупованням мікрофітів прибережжя мису Малий Фонтан у 2021 і 2023 роках (на бетоні) та у 2024 році (на піску). Водночас, їх вміст скоротився

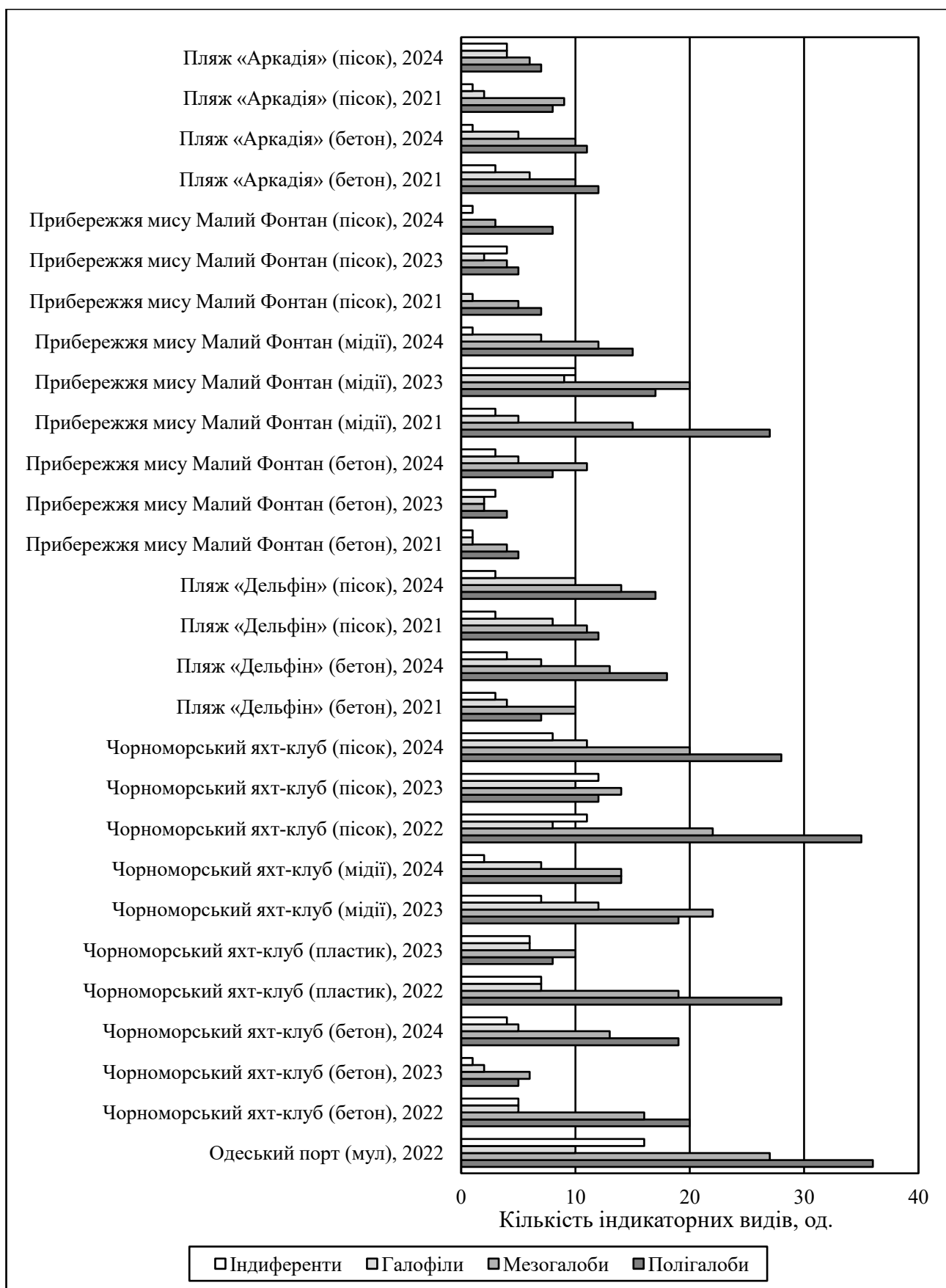


Рисунок 14 – Галобіонтний склад мікрофітобентосу Одеського прибережжя в літні періоди 2021-2024 років

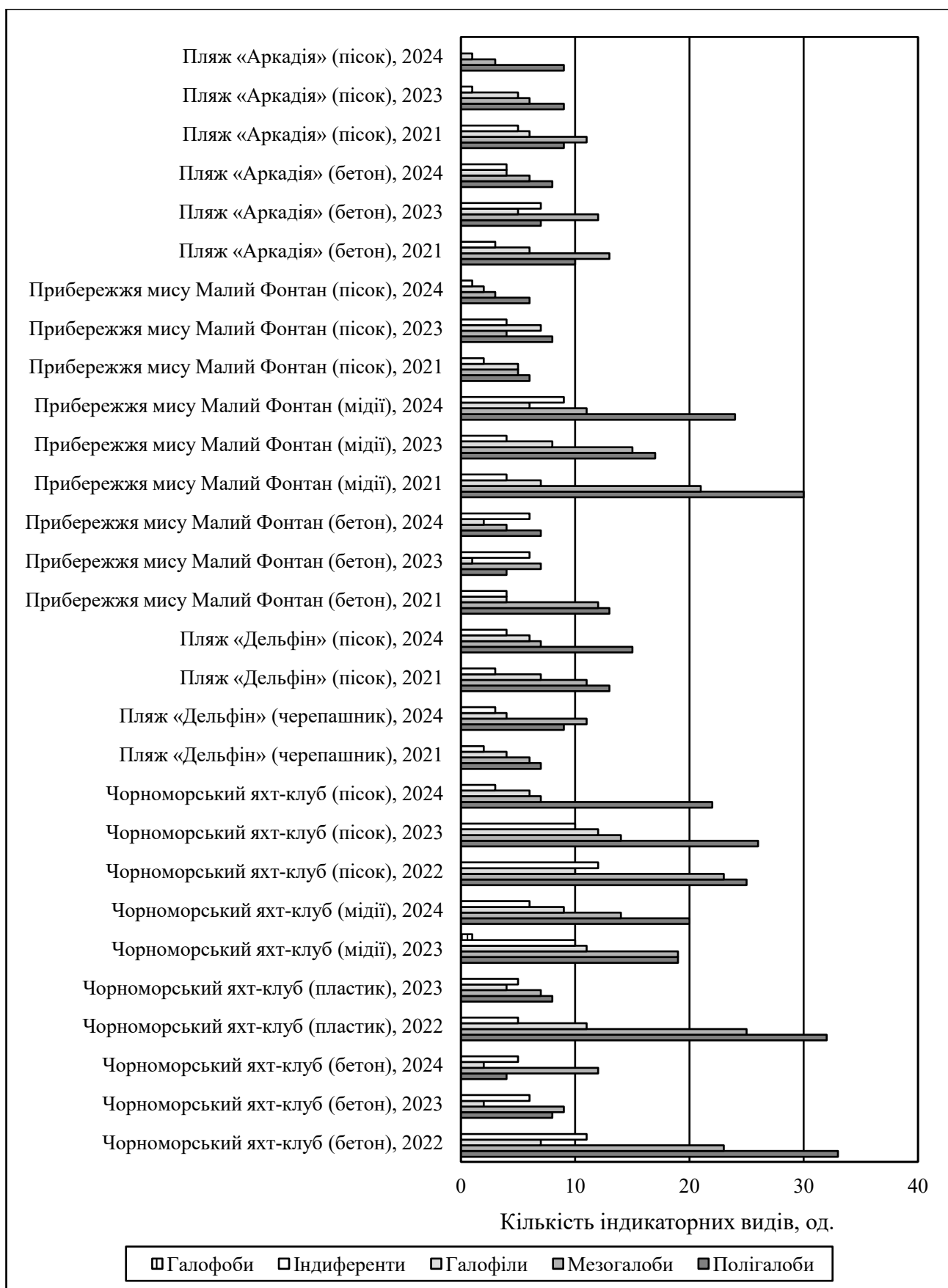


Рисунок 15 – Галобіонтний склад мікрофітобентосу Одеського прибережжя в осінні періоди 2021-2024 років

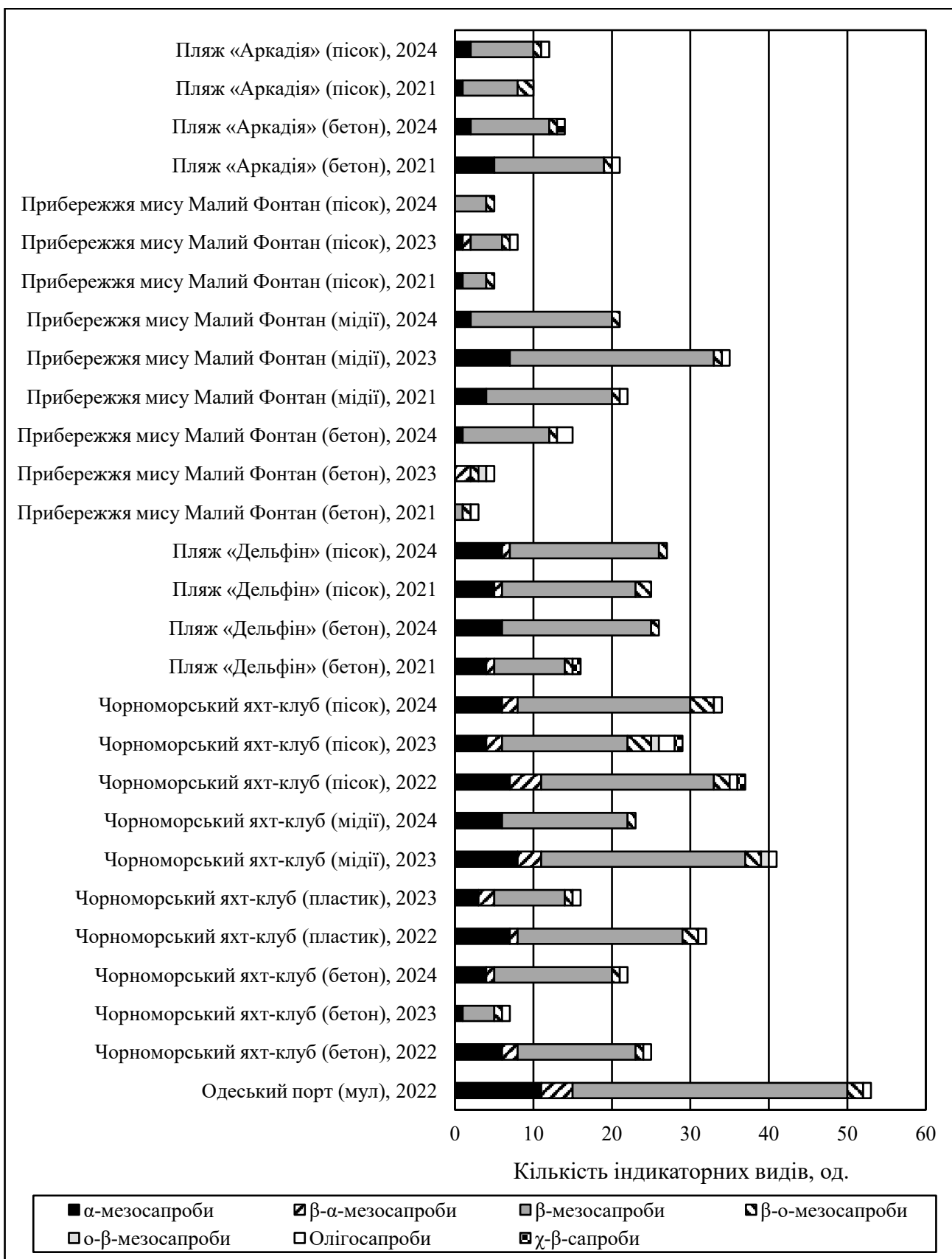


Рисунок 16 – Сапробіонтний склад мікрофітобентосу Одеського прибережжя в літні періоди 2021-2024 років

на пляжі «Аркадія» (на бетоні їх стало в 2,5 рази менше) та на стулках мідій з акваторій яхт-клубу та мису Малий Фонтан – в 1,3 та 3,5 рази, відповідно. На решті досліджених акваторій α -мезосапробів стало дещо більше порівняно з минулими роками: в яхт-клубі на піску та бетоні – в 1,5 та в 4,0, а на тих же субстратах з пляжу «Дельфін» – в 1,2-1,5 рази.

Восени 2024 року кількість α -мезосапробів майже повсюдно зменшувалась порівняно з минулими роками (рис. 17): на бетоні та мідіях у прибережжі мису Малий Фонтан, на бетоні з пляжу «Аркадія», а також на піску в яхт-клубі – вдвічі. Найнижча кількість сапробіонтів за відсутності α -мезосапробів була цього року на піщаних субстратах в акваторії пляжу «Аркадія» та коло мису Малий Фонтан.

У весняний сезон 2024 року загальна чисельність мікрофітобентосу на бетоні в акваторії яхт-клубу була в 3,2 рази нижчою за минулорічний показник, тоді як на піску вона зросла в 1,8 рази (див. табл. 18).

Влітку 2024 року показники чисельності бентосних мікрофітів на твердих субстратах майже скрізь зменшились порівняно з даними 2023 року, переважно за рахунок ціанопрокаріот (табл. 22). Так, в акваторії яхт-клубу на бетоні та мідіях вони знизились в 2,8 і 4,2, коло мису Малий Фонтан – у 4,1 та 5,2 рази, відповідно. Водночас, тільки на піску в яхт-клубі вона була в 1,7 рази менше відносно 2023 року. На бетоні на пляжах «Аркадія» та «Дельфін» чисельність мікрофітів була меншою в 1,4 та 5,7 рази, ніж у 2021 році. На піску з пляжів «Аркадія» та «Дельфін» вона зросла в 1,4-1,8, а біля мису Малий Фонтан – в 2,2 рази порівняно з 2021 роком.

Схожа ситуація була в досліджених акваторіях восени 2024 року (табл. 23). Чисельність мікрофітобентосу зменшилась на усіх субстратах в яхт-клубі (в 1,1-2,6 рази), на бетонному пірсі пляжу «Аркадія» – в 1,5, та на піску і бетоні поблизу мису Малий Фонтан – в 1,2 і 4,0 рази. Збільшення чисельності мікрофітів було зареєстроване восени 2024 року в акваторіях пляжів «Дельфін» (в 1,1 і 1,4 рази – на піску та черепашнику) і «Аркадія» (в 1,5 рази на піску) та біля мису Малий Фонтан (в 1,6 рази на стулках мідій).

У весняний сезон 2024 року в акваторії Чорноморського яхт-клубу біомаса мікрофітобентосу на піску та на бетоні перевищувала показники попереднього

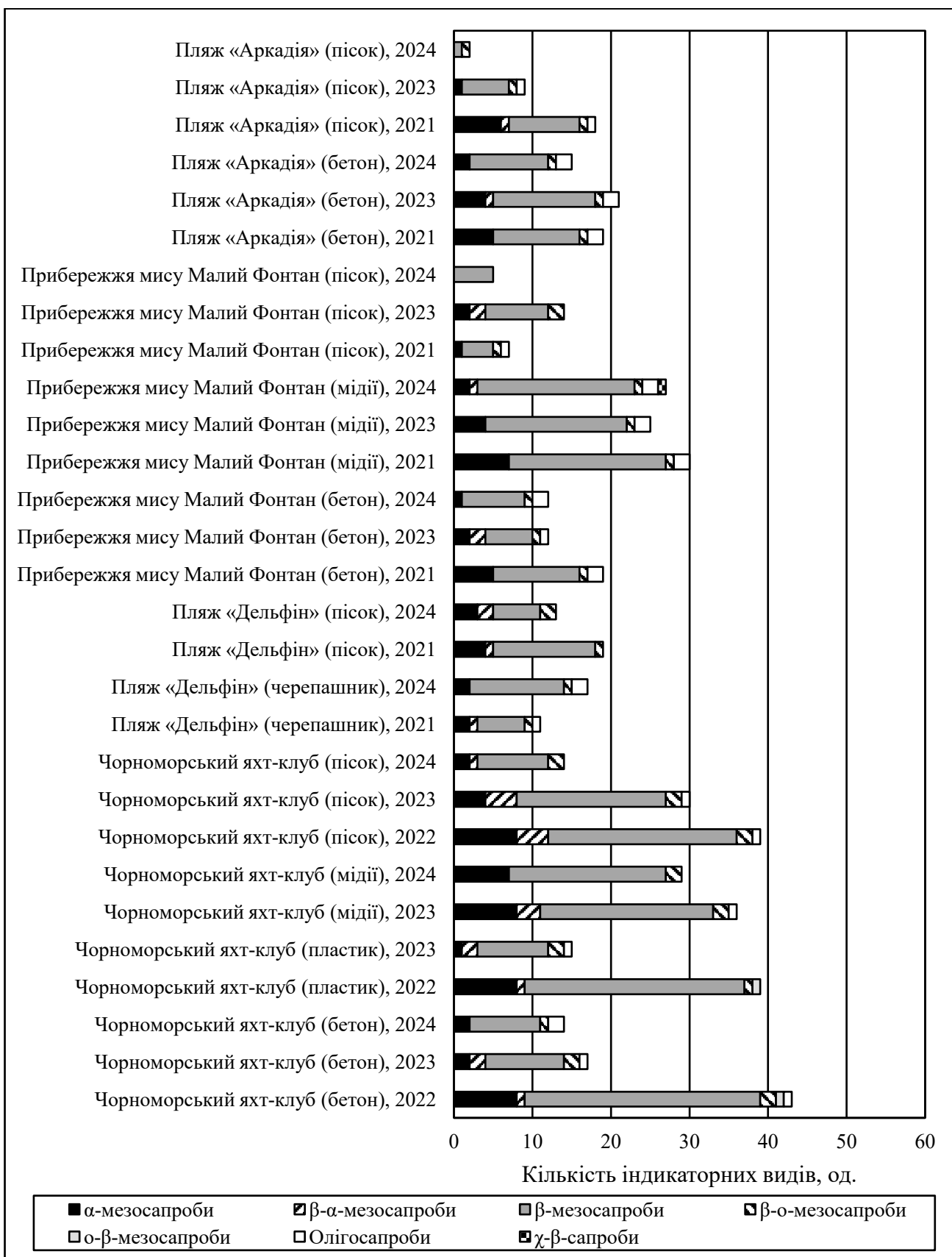


Рисунок 17 – Сапробіонтний склад мікрофітобентосу Одеського прибережжя в осінні періоди 2021-2024 років

Таблиця 22 – Чисельність (млн. кл. · м⁻²) мікрофітобентосу у водних масивах CW5 та CW6 в літні періоди
2021-2024 років

Місце відбору проб	Роки	Класи водоростей										
		Цуанопхуцеае	Еугленопхуцеае	Дінофхуцеае	Криптофхуцеае	Кокколітофхуцеае	Діктохуцеае	Бацилларіофхуцеае	Хлорофхуцеае	Требухіофхуцеае	N/A K (Chromista)	Всього
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Одеський порт, CW6 (мул)	2022	8 046,33	-	3,74	19,40	18,13	0,62	949,57	446,28	7,51	76,38	9 567,96
Чорноморський яхт-клуб, CW5 (бетон)	2022	2 702,27	-	4,00	1,47	2,66	-	139,37	-	-	4,00	2 853,77
	2023	4 808,58	-	0,26	2,40	1,60	-	6,26	-	-	3,10	4 822,20
	2024	1 619,50	-	4,26	3,33	2,67	-	102,22	-	-	6,00	1 738,58
Чорноморський яхт-клуб, CW5 (пластик)	2022	3 104,67	-	2,80	5,33	2,53	-	373,58	-	-	10,53	3 499,44
	2023	3 673,06	-	0,27	2,80	1,60	-	81,13	1,06	-	3,20	3 763,12
Чорноморський яхт-клуб, CW5 (мідії)	2023	1 826,84	-	1,08	0,54	2,41	-	147,59	6,20	-	4,24	1 988,90
	2024	399,53	-	2,20	0,77	1,48	-	63,09	0,09	-	1,63	468,79
Чорноморський яхт-клуб, CW5 (пісок)	2022	15 645,10	3,75	21,59	9,38	8,45	-	1 661,92	28,17	-	15,97	17 394,33
	2023	6 699,25	1,88	3,12	2,50	1,26	-	954,52	2,50	3,14	13,77	7 681,94
	2024	2 646,06	21,92	9,38	16,90	16,90	-	1 824,04	-	2,50	46,33	4 584,03
Пляж «Дельфін», CW5 (бетон)	2021	5 631,07	0,13	0,26	1,33	0,53	-	82,18	0,27	-	2,13	5 717,90
	2024	650,54	-	1,89	0,13	2,00	-	349,62	0,13	-	3,10	1 007,41

Кінець таблиці 22

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Пляж «Дельфін», CW5 (пісок)	2021	1 894,84	3,14	1,24	6,90	2,50	-	182,09	1,26	-	13,15	2 105,12
	2024	2 828,11	-	10,66	8,13	11,89	-	859,52	-	-	18,16	3 736,47
Прибережжя мису Малий Фонтан, CW5 (бетон)	2021	2 996,93	-	0,40	2,53	2,13	-	3,76	-	-	3,10	3 008,85
	2023	13 640,41	-	0,66	1,20	0,67	-	1,20	-	-	2,13	13 646,27
	2024	3 029,07	-	0,93	0,93	2,00	-	284,78	0,53	-	3,47	3 321,71
Прибережжя мису Малий Фонтан, CW5 (мідії)	2021	337,59	-	0,22	0,34	1,12	-	62,82	0,39	-	1,68	404,16
	2023	1 680,84	-	0,45	0,27	3,21	-	112,23	0,71	-	4,81	1 802,52
	2024	318,19	-	2,00	0,40	1,62	-	21,56	0,10	-	1,67	345,54
Прибережжя мису Малий Фонтан, CW5 (пісок)	2021	1 313,32	-	-	7,51	1,26	-	53,83	-	-	11,27	1 387,19
	2023	702,92	0,65	1,29	5,17	2,91	-	13,27	0,97	-	4,20	731,44
	2024	1 549,27	-	3,14	4,38	8,13	-	15,03	-	-	8,77	1 588,72
Пляж «Аркадія», CW5 (бетон)	2021	7 448,00	0,27	0,40	0,13	1,20	-	33,67	0,27	-	3,10	7 487,04
	2024	5 489,86	-	2,25	0,67	1,33	-	18,66	-	-	2,27	5 515,04
Пляж «Аркадія», CW5 (пісок)	2021	1 404,71	3,76	12,50	9,40	4,38	-	82,63	-	-	10,00	1 527,38
	2024	1 915,75	0,62	5,64	6,89	4,40	-	35,01	0,62	-	11,27	1 980,20

Таблиця 23 – Чисельність (млн. кл. · м⁻²) мікрофітобентосу у водному масиві CW5 в осінні періоди 2021-2024 років

Місце відбору проб	Роки	Класи водоростей								
		Суанопһусеае	Еугленопһусеае	Дінофһусеае	Криптофһусеае	Сокколітофһусеае	Бацилларіофһусеае	Слоропһусеае	N/A K (Сlromista)	Всього
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Чорноморський яхт-клуб (бетон)	2022	604,56	-	1,13	1,47	1,47	349,91	-	4,80	963,34
	2023	12 706,70	-	0,26	0,13	0,93	27,46	-	2,40	12 737,88
	2024	10 075,56	0,13	0,93	0,40	2,13	37,20	-	5,10	10 121,45
Чорноморський яхт-клуб (пластик)	2022	3 052,53	-	1,33	5,33	1,33	836,60	-	7,60	3 904,72
	2023	3 731,37	0,13	0,13	0,40	1,33	14,94	0,27	1,87	3 750,44
Чорноморський яхт-клуб (мідії)	2023	1 510,74	-	1,75	0,19	3,41	128,30	0,09	2,58	1 647,06
	2024	1 249,36	-	1,47	1,16	1,62	186,47	-	7,50	1 447,58
Чорноморський яхт-клуб (пісок)	2022	6 997,20	3,00	19,52	8,27	9,00	1 840,86	7,50	27,00	8 912,35
	2023	6 707,31	2,50	28,80	6,25	11,27	1 155,61	1,26	25,67	7 938,67
	2024	2 742,54	-	36,94	7,51	11,91	241,59	-	13,77	3 054,26
Пляж «Дельфін» (черепашиник)	2021	1 523,74	-	1,46	1,10	0,53	9,75	-	7,10	1 543,68
	2024	1 434,96	0,13	4,00	0,53	1,47	967,86	-	4,13	2 413,08

Кінець таблиці 23

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Пляж «Дельфін» (пісок)	2021	2 466,35	0,62	6,88	2,50	0,62	72,00	0,62	16,28	2 565,87
	2024	2 542,07	-	26,27	2,50	5,63	108,95	-	8,77	2 694,19
Прибережжя мису Малий Фонтан (бетон)	2021	17 668,93	-	0,81	1,60	1,20	33,32	0,13	5,10	17 711,09
	2023	18 315,74	-	0,13-	0,27	2,80	134,41	-	2,53	18 455,88
	2024	4 477,48	-	0,13	0,80	2,13	89,74	-	3,60	4 573,88
Прибережжя мису Малий Фонтан (мідії)	2021	891,32	-	3,89	0,93	0,70	91,01	0,29	2,27	990,41
	2023	1 112,23	-	1,72	0,86	3,00	115,82	-	3,85	1 237,48
	2024	1 735,15	-	0,91	2,30	2,03	173,05	-	8,59	1 922,03
Прибережжя мису Малий Фонтан (пісок)	2021	1 953,04	-	3,74	5,00	7,51	67,58	0,62	8,13	2 045,62
	2023	1 393,44	-	2,52	8,13	5,63	185,27	-	11,27	1 606,26
	2024	1 256,96	-	5,00	3,76	7,51	10,62	-	10,65	1 294,50
Пляж «Аркадія» (бетон)	2021	5 832,28	-	1,34	0,13	0,27	144,45	-	6,94	5 985,41
	2023	14 310,52	-	0,26	0,40	2,26	78,18	-	3,47	14 395,19
	2024	9 863,17	-	3,90	0,93	4,13	5,72	-	4,27	9 882,12
Пляж «Аркадія» (пісок)	2021	1 905,49	-	36,32	6,25	2,50	44,41	1,88	20,00	2 016,85
	2023	558,39	-	157,75	11,89	4,38	41,97	-	11,89	786,27
	2024	1 173,71	-	8,14	8,77	5,00	6,88	-	10,00	1 212,50

року в 1,5 та 1,7 рази, відповідно (див. табл. 18). Суттєву роль у її формуванні відігравали діатомеї.

В літній період 2024 року на більшості досліджених ділянок моря біомаси бентосних мікроводоростей зменшувались порівняно з минулим роком: на бетоні та мідіях в яхт-клубі – в 1,3 і 3,4 рази, на таких же субстратах біля мису Малий Фонтан – в 2,4 та 11,6, а на піску та бетоні в акваторії пляжу «Аркадія» – в 2,0 та 4,6 рази (табл. 24). Збільшення біомас мікрофітів було відмічено на піску в акваторіях мису Малий Фонтан у 2,4, пляжу «Дельфін» – вчетверо і Чорноморського яхт-клубу – у 7,9 рази. Основу біомаси створювали синьо-зелені та діатомові водорості.

В осінній сезон 2024 року, навпаки, частіше спостерігалось збільшення показників біомаси мікрофітів досліджених акваторій (табл. 25). На стулках мідій з морських ділянок біля яхт-клубу та мису Малий Фонтан біомаси мікроводоростей зростали в 2,4 та 2,5 рази відносно попереднього року. Водночас, на піску в ділянках моря поблизу яхт-клубу і мису Малий Фонтан вони скоротились в 3,7 та 6,2, а в акваторії пляжу «Аркадія» – у 14,8 рази порівняно з 2023 роком. На бетоні в яхт-клубі і на пляжі «Аркадія» вони істотно не змінилися відносно минулого року. На піску та черепашнику в акваторії пляжу «Дельфін» біомаси збільшилися в 2,7 та 17,4 рази порівняно з показниками 2021 року. Основу біомаси восени також створювали синьо-зелені та діатомові, а на піщаних субстратах – і дінофітові водорості.

У 2021-2024 роках також була проведена оцінка екологічного стану довкілля водного масиву CW5 за шкалами та класами трофності [50] і сапробності [19] по показниках загальної чисельності клітин водоростей (див. табл. 18, 21-23) та кількості видів α -мезосапробів (див. рис. 16, 17) у мікрофітобентосі твердих субстратів, як індикаторних характеристик відгуків цих чутливих організмів-моніторів на умови мешкання у різних ділянках ПЗЧМ (табл. 26, 27).

Встановлено, що за чисельністю мікрофітобентосу твердих субстратів переважна більшість досліджених акваторій у 2021-2024 роках належала до класу «мезотрофний» і характеризувалася «добрим» (див. табл. 16, 26) екологічним станом.

Таблиця 24 – Біомаса ($\text{мг} \cdot \text{м}^{-2}$) мікрофітобентосу у водних масивах CW5 та CW6 в літні періоди 2021-2024 років

Місце відбору проб	Роки	Класи водоростей										
		Cyanophyceae	Euglenophyceae	Dinophyceae	Cryptophyceae	Coccolithophyceae	Dictyochophyceae	Bacillariophyceae	Chlorophyceae	Trebouxiophyceae	N/A K (Chromista)	Всього
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Одеський порт, CW6 (мул)	2022	266,02	-	3,54	1,83	4,91	1,22	15 279,31	103,34	0,98	5,00	15 666,15
Чорноморський яхт-клуб, CW5 (бетон)	2022	526,52	-	1,45	0,14	0,71	-	637,67	-	-	0,27	1166,76
	2023	434,98	-	1,35	0,23	0,10	-	11,11	-	-	0,20	447,97
	2024	77,67	-	44,31	0,31	0,17	-	235,20	-	-	0,39	358,05
Чорноморський яхт-клуб, CW5 (пластик)	2022	329,50	-	56,82	0,50	0,23	-	2 587,38	-	-	0,70	2 975,13
	2023	937,36	-	0,50	0,26	2,87	-	146,81	0,04	-	0,21	1 088,65
Чорноморський яхт-клуб, CW5 (мідії)	2023	93,64	-	8,58	0,05	0,30	-	367,42	1,74	-	0,28	472,01
	2024	7,44	-	15,67	0,07	0,27	-	114,91	0,03	-	0,11	138,50
Чорноморський яхт-клуб, CW5 (пісок)	2022	884,94	2,95	387,49	0,88	0,98	-	4 967,11	1,18	-	1,00	6 246,53
	2023	200,71	1,91	6,27	0,24	0,08	-	952,05	0,63	0,59	0,90	1 163,38
	2024	78,80	22,91	46,79	1,59	1,61	-	9 087,61	-	1,31	3,00	9 243,62
Пляж «Дельфін», CW5 (бетон)	2021	494,01	0,10	0,29	0,13	0,03	-	1 502,39	0,06	-	0,14	1 997,15
	2024	13,11	-	15,22	0,01	0,13	-	2 251,06	0,03	-	0,20	2 279,76

Кінець таблиці 24

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Пляж «Дельфін», CW5 (пісок)	2021	36,62	2,80	2,28	0,65	0,16	-	1 013,00	0,30	-	0,86	1 056,67
	2024	54,67	-	49,90	0,77	0,78	-	4 106,72	-	-	1,19	4 214,03
Прибережжя мису Малий Фонтан, CW5 (бетон)	2021	192,72	-	1,18	0,24	0,14	-	1,40	-	-	0,20	195,88
	2023	773,54	-	6,43	0,11	0,04	-	0,51	-	-	0,14	780,77
	2024	111,30	-	4,73	0,09	0,66	-	203,68	0,13	-	0,23	320,82
Прибережжя мису Малий Фонтан, CW5 (мідії)	2021	11,45	-	2,94	0,03	0,07	-	474,57	0,07	-	0,11	619,24
	2023	255,84	-	1,82	0,03	0,67	-	555,83	0,18	-	0,31	814,68
	2024	9,37	-	0,66	0,04	0,11	-	60,07	0,03	-	0,11	70,39
Прибережжя мису Малий Фонтан, CW5 (пісок)	2021	21,69	-	-	0,71	0,08	-	97,48	-	-	0,74	120,70
	2023	5,82	4,49	2,38	0,49	2,88	-	6,19	0,23	-	0,27	22,75
	2024	10,80	-	12,41	0,41	0,81	-	46,29	-	-	0,57	71,29
Пляж «Аркадія», CW5 (бетон)	2021	1 615,80	0,21	0,74	0,01	0,08	-	48,62	0,06	-	0,20	1 665,72
	2024	263,29	-	17,81	0,06	0,09	-	77,34	-	-	0,15	358,74
Пляж «Аркадія», CW5 (пісок)	2021	11,64	5,16	19,27	0,90	0,29	-	90,74	-	-	0,65	128,65
	2024	19,00	0,49	6,22	0,65	0,87	-	36,38	0,16	-	0,74	64,51

Таблиця 25 – Біомаса ($\text{мг} \cdot \text{м}^{-2}$) мікрофітобентосу у водному масиві CW5 в осінні періоди 2021-2024 років

Місце відбору проб	Роки	Класи водоростей								
		Суанophyceae	Euglenophyceae	Dinophyceae	Cryptophyceae	Coccolithophyceae	Bacillariophyceae	Chlorophyceae	N/A K (Chromista)	Всього
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Чорноморський яхт-клуб (бетон)	2022	20,97	-	16,78	0,14	0,10	4 693,94	-	0,31	4 732,24
	2023	1 018,68	-	1,22	0,01	0,06	80,68	-	0,16	1 100,81
	2024	1 052,94	0,10	5,22	0,04	0,14	106,48	-	0,33	1 165,25
Чорноморський яхт-клуб (пластик)	2022	439,89	-	16,36	0,50	0,15	3 969,39	-	0,50	4 427,39
	2023	189,36	0,10	0,41	0,04	3,60	45,16	0,07	0,12	238,86
Чорноморський яхт-клуб (мідії)	2023	276,96	-	27,19	0,02	0,66	237,08	0,02	0,17	542,10
	2024	94,64	-	15,09	0,11	0,11	1 165,16	-	0,49	1 275,60
Чорноморський яхт-клуб (пісок)	2022	478,08	2,36	210,34	0,78	0,59	3 910,39	0,47	1,77	4 604,78
	2023	328,35	1,96	155,80	0,59	1,17	1 932,53	0,32	1,68	2 422,40
	2024	51,81	-	224,65	0,71	1,36	572,05	-	0,90	651,48
Пляж «Дельфін» (черепашник)	2021	83,07	-	4,41	0,10	0,03	4,18	-	0,46	92,25
	2024	1 581,92	-	0,66	0,09	0,27	18,59	-	0,28	1 601,81

Кінець таблиці 25

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Пляж «Дельфін» (пісок)	2021	31,12	0,47	15,90	0,24	1,33	166,12	0,15	1,10	216,43
	2024	29,08	-	93,17	0,24	0,37	455,62	-	0,57	579,05
Прибережжя мису Малий Фонтан (бетон)	2021	1 047,99	-	1,44	0,15	0,08	63,37	0,03-	0,33	1 113,39
	2023	972,18	-	0,04	0,03	0,24	523,95	-	0,17	1 496,61
	2024	438,51	-	0,78	0,08	0,14	264,12	-	0,24	703,87
Прибережжя мису Малий Фонтан (мідії)	2021	40,14	-	22,61	0,09	0,05	462,65	0,07	0,15	525,76
	2023	53,13	-	10,79	0,08	0,53	486,77	-	0,25	551,55
	2024	202,74	-	4,43	0,22	0,27	1 150,95	-	0,60	1 359,21
Прибережжя мису Малий Фонтан (пісок)	2021	47,16	-	5,47	0,47	3,11	37,40	0,15	0,53	94,29
	2023	15,32	-	3,80	0,77	0,37	149,96	-	0,74	170,96
	2024	8,97	-	8,96	0,35	0,49	8,02	-	0,70	27,49
Пляж «Аркадія» (бетон)	2021	862,50	-	2,78	0,01	0,02	97,77	-	0,46	963,54
	2023	1 293,20	-	1,22	0,04	1,25	253,92	-	0,23	1 549,86
	2024	1 581,92	-	0,66	0,09	0,27	18,59	-	0,28	1 601,81
Пляж «Аркадія» (пісок)	2021	49,02	-	168,88	0,59	0,29	86,19	0,44	1,31	306,72
	2023	3,55	-	634,18	1,12	1,58	63,35	-	0,78	705,06
	2024	9,02	-	28,35	0,83	0,33	8,42	-	0,65	47,60

Таблиця 27 – Оцінка екологічного стану довкілля водного масиву CW5 за шкалою та рівнем сапробності [21]
по кількості видів α -мезосапробів у мікрофітобентосі твердих субстратів у 2021-2024 роках

Клас екологічного стану вод		Відмінний (high)				Добрий (good)				Задовільний (moderate)				Посередній (poor)				Поганий (bad)			
Місце відбору проб	Кольоровий код	синій				зелений				жовтий				оранжевий				червоний			
	Рівень сапробності	Олігосапробний				β -мезосапробний				α -мезосапробний				Полісапробний				Гіперсапробний			
	Кількість α -мезосапробних видів, од.	0-1				2-4				5-7				8-10				≥ 11			
	Роки Сезони	2021	2022	2023	2024	2021	2022	2023	2024	2021	2022	2023	2024	2021	2022	2023	2024	2021	2022	2023	2024
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
Чорноморський яхт-клуб (пірс, біля берега)	Весна							4	4												
	Літо			1					4		6										
	Осінь							2	2						8						
Чорноморський яхт-клуб (пірс, 3 м від берега)	Весна																				
	Літо							2													
	Осінь																				
Чорноморський яхт-клуб (камінь)	Весна											6									
	Літо																				
	Осінь																				
Чорноморський яхт-клуб (понтон)	Весна											7									
	Літо							3			7										
	Осінь			1											8						

«Оліготрофний» клас та «відмінний» екологічний стан були відмічені в акваторіях біля Чорноморського яхт-клубу, мису Малий Фонтан і пляжу «Дельфін» за показниками розвитку мікрофітів на стулках мідій у 2024 році. Покращення екологічного стану від «задовільного» до «доброго» спостерігалось в осінній період 2024 року на бетоні біля мису Малий Фонтан. Чисельність мікрроводоростей у 2023 році зростала порівняно з даними 2021-2022 років, а у 2024 – зменшувалась порівняно з минулорічними показниками (див. табл. 26).

За вмістом α -мезосапробів у переважній більшості досліджених акваторій також спостерігалось покращення класу сапробності від « α -мезосапробного» до « β -мезосапробного», екологічного стану – від «задовільного» до «доброго», а в акваторії мису Малий Фонтан – і до «олігосапробного» та «відмінного» (див. табл. 17, 27).

Влітку та восени 2024 року, порівняно з 2021-2023 роками, суттєво скоротилися систематичні показники розвитку мікрроводоростей, зокрема, за рахунок діатомей, ціанопрокаріот та зелених водоростей. Водночас, кількість видів дінофітових дещо збільшилась. Біомаси мікрофітів на всіх типах субстратів улітку зменшувались порівняно з минулими роками, а восени, навпаки, зростали. Також дещо зменшилися показники розвитку синьо-зелених водоростей. Отже, впродовж 2024 року в досліджених акваторіях ПЗЧМ спостерігалися помірні систематичні та кількісні показники розвитку мікрофітобентосу.

ВИСНОВКИ

Впродовж 2024 року були проведені оцінка та діагноз екологічного стану довкілля Дністровського району ПЗЧМ у водному масиві CW5 на акваторіях: Чорноморського яхт-клубу, біля мису Малий Фонтан, пляжів «Дельфін» та «Аркадія». Біомоніторинг виконувався за методами біотестування та біоіндикації з використанням фізіолого-морфологічних, систематичних, кількісних, галобіонтних і сапробіонтних показників стану тест-об'єктів (чорноморських мідій різних стадій розвитку) та організмів-індикаторів (водоростей мікрофітобентосу).

На екологічний стан досліджених акваторій впливали, як традиційні антропогенні чинники (рекреаційне навантаження, скиди зливових стоків, тощо) і природні (температура та солоність водних мас, припливно-відпливні коливання і штормові явища та інші), так і наслідки воєнних дій, зокрема надходження забруднювачів з прісними водами внаслідок руйнування греблі Каховської ГЕС ще влітку 2023 року. Ці фактори відобразились на реєстрованих показниках розвитку тест-об'єктів і організмів-моніторів, чутливість яких до якості морських вод зростала в ряду: дорослі мідії → водорості мікрофітобентосу → личинки мідій.

Стан «здоров'я» дорослих мідій та водного довкілля акваторій масиву CW5 (за часом утримання нейтрального червоного мембранами лізосом гемолімфи мідій при біотестуванні) влітку та восени відповідав екологічним класам вод:

- «добрий» (у Чорноморському яхт-клубі, в воді якого стабільність лізосомальних мембран тест-об'єктів завжди тривала лише 135 хвилин);
- «відмінний» (коло мису Малий Фонтан, тому що реєстрований показник гемолімфи молюсків перевищував 150-хвилинний поріг на 12-21 хвилину).

Тобто, акваторія, прилегла до мису Малий Фонтан, що була визнана впродовж попередніх років умовно-чистою порівняно з дослідженими ділянками моря (CW5-CW7), лишилася дуже сприятливою для мешкання дорослих мітілід.

Фільтраційна активність мідій при тестуванні якості води з прибережжя мису Малий Фонтан в літній та осінній сезони 2024 року перевищувала інтенсивність

фільтрації цими тест-об'єктами води з яхт-клубу на 2,1 % та 11,5 % (до можливого). Восени 2024 року інтенсивність фільтрації молюсками води з акваторії біля мису Малий Фонтан зросла відносно такої у 2023 році на 5,8 % (до можливого).

При біотестуванні водного середовища з району мису Малий Фонтан інтенсивність дихання мідій в літній та осінній періоди 2024 року становила 0,25 мл O_2 /особину в годину та 0,28 мл O_2 /особину в годину (відповідно), тобто була подібною до значення даного показника, встановленого восени 2020 року.

В осінній сезон споживання молюсками розчиненого у воді кисню під час тестування якості вод з яхт-клубу було більш ніж у 2,5 рази гіршим за показник інтенсивності дихання мітілід у воді з прибережжя мису Малий Фонтан, а саме становило лише 0,11 мл O_2 /особину в годину. Низький реєстрований показник у тест-об'єктів (як і у 2023 році) характеризує водне довкілля яхт-клубу як значно гіршої якості, ніж умовно-чистої акваторії, прилеглої до мису Малий Фонтан.

Біотестування улітку 2024 року, здійснене для морського прибережжя Одеського регіону (CW5) на личинках мідій ранніх стадій розвитку, виявило, що всі досліджені ділянки моря відповідали екологічному класу стану вод «задовільний». В їх водах (в умовах лабораторії) утворилося 27,9-33,9 % тест-об'єктів нормальної морфології (тобто, в межах від 15,0 % до 50,0 %).

Проведена восени оцінка екологічного стану довкілля CW5 під час біотестування якості водних мас з місць із різним антропогенним навантаженням на личинках мідій (як більш чутливих за дорослих молюсків до впливу морських вод різного ступеню забруднення) виявила, що екологічні властивості досліджених вод покращувалися в ряду: пляж «Аркадія» → Чорноморський яхт-клуб → пляж «Дельфін» → прибережжя мису Малий Фонтан. Найкращим екологічним станом (за відсотком нормально розвинених личинок мідій) характеризувалися довкілля ділянок моря поблизу мису Малий Фонтан (65,2 %), на пляжі «Дельфін» (55,4 %), у Чорноморському яхт-клубі (54,2 %). Вищенаведені середовища акваторій CW5 відповідали екологічному класу стану вод «добрий», тому що кількість нормально розвинених в їх водах тест-об'єктів перебувала у діапазоні від 50,0 % до 90,0 %. Порівняно з 2020 роком, коли вперше за останнє двадцятиріччя під час

біотестування якості вод з використанням личинок мідій для CW5 був встановлений екологічний стан «добрий», наразі сталася подібна ситуація для трьох з вищеназваних акваторій.

Тільки водні маси рекреаційно навантаженої акваторії пляжу «Аркадія» восени відповідали екологічному класу стану вод «задовільний», в них утворилося 43,6 % личинок мідій нормальної морфології. Але порівняно з результатами біотестування стану чорноморських вод у 2010 році з використанням личинок мідій наразі спостерігається покращення екологічних властивостей дослідженого прибережного довкілля навіть пляжу «Аркадія» майже у 44 рази.

Впродовж 2024 року була проведена оцінка якості морського довкілля методом біоіндикації за показниками розвитку мікрофітобентосу різних субстратів. У водному масиві CW5 було знайдено 159 видів водоростей, які належали до 9 класів. Переважали діатомеї (64,8 % від загальної кількості знайдених видів). Знайдено 12 потенційно токсичних видів мікрофітів: здебільшого серед синьо-зелених та дінофітових. Порівняно з попереднім роком їх стало менше в 1,4 рази.

У 2024 році зменшилася кількість олігогалобних видів бентосних мікрофітів (тобто, саме галофілів та індиферентів як показників опріснення вод у 2023 році через зниження солоності у ПЗЧМ після руйнування греблі Каховської ГЕС).

Стосовно солоності води знайдені види були, здебільшого, полі- та мезогалобами (48,9 % та 25,2 %), а відносно її органічного забруднення – β-мезосапробами (71,0 %). Наймасовішими були діатомеї: *Achnanthes brevipes*, *A. longipes* і види родів *Diatoma* та *Nitzschia*. Також інтенсивно вегетували α-мезосапробні діатомея *Tabularia fasciculata* і ціанопрокаріота *Oscillatoria limosa*, β-α-мезосапробні синьо-зелені водорості *Merismopedia glauca* і *M. tenuissima* та β-о-мезосапробні *Leptolyngbya fragilis* і *Merismopedia elegans*. Найінтенсивніший розвиток сапробіонтів, зокрема α-мезосапробів та β-α-мезосапробів, спостерігався в антропогенізованій та евтрофікованій акваторії Чорноморського яхт-клубу.

Протягом року спостерігалися аномальні клітини діатомей в акваторіях пляжів «Аркадія» та «Дельфін», а найчастіше вони траплялися в яхт-клубі.

Влітку та восени 2024 року, порівняно з 2021-2023 роками, суттєво скоротилися систематичні показники розвитку мікроводоростей, зокрема, за рахунок діатомей, ціанопрокаріот та зелених водоростей. Водночас, кількість видів дінофітових дещо збільшилась. Біомаси мікрофітів на всіх типах субстратів улітку зменшувались порівняно з минулими роками, а восени, навпаки, зростали. Також дещо зменшилися показники розвитку синьо-зелених водоростей. Отже, впродовж 2024 року в досліджених акваторіях ПЗЧМ спостерігалися помірні систематичні та кількісні показники розвитку мікрофітобентосу.

Оцінка та діагноз екологічного стану довкілля водного масиву CW5 ПЗЧМ, здійснені у 2024 році за методами біотестування та біоіндикації з використанням фізіолого-морфологічних, систематичних, кількісних, галобіонтних і сапробіонтних показників розвитку різних за чутливістю тест-об'єктів та організмів-моніторів (гідробіонтів різних систематичних рівнів), виявили, що впродовж року покращилися екологічні властивості водних середовищ трьох акваторій: Чорноморського яхт-клубу, пляжу «Дельфін» та прибережжя мису Малий Фонтан (які восени стали відповідати екологічному класу стану вод «добрий»). Як і у попередні більш ніж 20 років спостережень, для акваторії, прилеглої до мису Малий Фонтан, отримані у переважній більшості найкращі результати з досліджень екологічного стану морського довкілля. Тобто, ця ділянка прибережжя ПЗЧМ залишилася умовно-чистою й у 2024 році.

Актуальність роботи пов'язана із необхідністю використання в системі морського моніторингу сучасних інтегральних та економічно ефективних методів біотестування та біоіндикації з метою отримання наукової інформації щодо змін екологічного стану морського середовища України в межах виключної морської економічної зони для наступного використання при розробці заходів щодо можливого покращення якості морських прибережних вод та адаптивного управління нею на базі екосистемного підходу, для підготовки Національної доповіді про стан довкілля України, для участі у науково-практичних конференціях, для екологічної освіти населення, для дослідження впливу наслідків воєнних дій на екологічний стан довкілля Азово-Чорноморського басейну, тощо.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1 Україна. Закони. Про затвердження Програми державного моніторингу вод (у частині діагностичного моніторингу прибережних і морських вод Чорного та Азовського морів) на період до 2026 року [Електронний ресурс] : Наказ Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України від 05.01.2022 р. №2. – Режим доступу : <https://mepr.gov.ua/wp-content/uploads/2023/04/2n.pdf>. – 25.12.2024. – Назва з екрану

2 Україна. Закони. Про схвалення Морської природоохоронної стратегії України [Електронний ресурс] : Розпорядження Кабінету Міністрів України від 11 жовтня 2021 р. № 1240-р. із змінами // Відомості Верховної Ради України. – Режим доступу : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1240-2021-p#Text>. – 25.12.2024. – Назва з екрану

3 Україна. Закони. Про затвердження положення про Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України [Електронний ресурс] : Постанова Кабінету Міністрів України від 25.06.2020 № 614 із змінами // Відомості Верховної Ради України. – Режим доступу : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/614-2020-p#Text>. – 25.12.2024. – Назва з екрану

4 Україна. Закони. Про Основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2030 року [Електронний ресурс] : закон України від 28.02.19 р. № 2697-VIII // Відомості Верховної Ради України. – Режим доступу : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2697-19#Text>. – 25.12.2024. – Назва з екрану

5 Україна. Закони. Про виконання Угоди про асоціацію між Україною, з однієї сторони, та Європейським Союзом, Європейським співтовариством з атомної енергії і їхніми державами-членами, з іншої сторони [Електронний ресурс] : Постанова Кабінету Міністрів України від 25.10.2017 № 1106 із змінами // Відомості Верховної Ради України. – Режим доступу : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1106-2017-п>. – 25.12.2024. – Назва з екрану

6 Україна. Закони. Про затвердження Морської доктрини України на період до 2035 року [Електронний ресурс] : Постанова Кабінету Міністрів України від 07.10.2009 № 1307 із змінами // Відомості Верховної Ради України. – Режим доступу : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1307-2009-п#Text>. – 25.12.2024. – Назва з екрану

7 Strategic Action Plan for the Environmental Protection and Rehabilitation of the Black Sea (2009) [Electronic resource] / The Commission on the Protection of the Black Sea Against Pollution; Official Documents. – Режим доступу : http://www.blacksea-commission.org/_bssap2009.asp. – 25.12.2024. – Title from the screen

8 The European Parliament and the Council of the European Union. Directive 2008/56/EC of the European Parliament and of the Council of 17 June 2008 establishing a framework for community action in the field of marine environmental policy (Marine Strategy Framework Directive) [Text] // Official Journal of the European Union, 25.06.2008. – 2008. – P. 19-40

9 Северо-западная часть Черного моря: биология и экология [Текст] : сб. науч. тр. / под. отв. ред. Ю. П. Зайцева, Б. Г. Александрова, Г. Г. Миничевой. – К. : Наукова думка, 2006. – 700 с.

10 Строганов Н. С. Метод биотестирования качества вод с использованием дафний [Текст] / Н. С. Строганов, Е. Ф. Исакова, Л. В. Колосова // Методы биоиндикации и биотестирования природных вод. Вып. 1. – Л. : Гидрометеиздат, 1987. – С. 5-12

11 Филенко О. Ф. Некоторые принципы биотестирования токсичности загрязняемых природных вод [Текст] / О. Ф. Филенко // Методы биоиндикации и биотестирования природных вод. Вып. 2. – Л. : Гидрометеиздат, 1989. – С. 185-193

12 Деньга Ю. М. Використання мідій у моніторингу якості вод рекреаційної зони моря [Текст] / Ю. М. Деньга, Л. Л. Красота, Е. Ф. Костильов // Устойчивое развитие экологического туризма на черноморском побережье : сб. материалов 3-го симпозиума : (10-13 июня 2003 г., Одесса) / Центр научно-технической, экономической и правовой информации. – Одесса : ЦНТЭПИ, 2003. – С. 62-72

13 Костылев Э. Ф. Методические аспекты оценки качества морской среды на основе показателей состояния мидий и водорослей-микрофитов [Текст] / Э. Ф. Костылев, Л. Л. Красота, А. В. Рачинская, М. С. Дидорчук // Моніторинг навколишнього середовища. Науково-методичне, нормативне, технічне, програмне забезпечення : матеріали наук.-практ. конф. (18-22 вересня 2006 р., АР Крим, м. Коктебель). – Коктебель : НПП «Екологія, наука, техніка», 2006. – С. 127-128

14 Красота Л. Л. Оценка состояния морской среды Одесского побережья по физиолого-морфологическим показателям черноморских мидий [Текст] / Л. Л. Красота // Причорноморський екологічний бюлетень. – Одеса, 2008. – № 4 (30). – С. 60-66

15 Ковальчук І. П. Гідроекологічний моніторинг [Текст]: навч. посібник / І. П. Ковальчук, Л. П. Курганевич. – Львів : ЛНУ імені Івана Франка, 2010. – 292 с. + 1,0 вкл.

16 Водоросли [Текст] : справочник / С. П. Вассер, Н. В. Кондратьева, Н. П. Масюк [и др.]. – К. : Наук. думка, 1989. – 606 с.

17 Барина С. С. Биоразнообразие водорослей-индикаторов окружающей среды [Текст] / С. С. Барина, Л. А. Медведева, О. Н. Анисимова. – Тель-Авив : Pilies Studio, 2006. – 498 с.

18 Рачинська О. В. Біоіндикація якості морського довкілля Одеського регіону за показниками розвитку мікрофітобентосу [Текст] / О. В. Рачинська // Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка. Серія : Біологія. Спеціальний випуск: Гідроекологія. – 2015. – № 3-4 (64). – С. 565-568

19 Бегун А. А. Биоиндикация качества морской среды по диатомовым водорослям в обрастании антропогенных субстратов [Текст] / А. А. Бегун, А. Ю. Звягинцев // Известия ТИНРО. – 2010. – Т. 161. – С. 177-198

20 Гусяков Н. Е. Атлас диатомовых водорослей бентоса северо-западной части Черного моря и прилегающих водоемов [Текст] / Н. Е. Гусяков, О. А. Закордонец, В. П. Герасимюк. – К. : Наукова думка, 1992. – 112 с.

21 Оксиюк О. П. Методологические принципы оценки экологического состояния водных объектов по микрофитобентосу [Текст] / О. П. Оксиюк, О. А. Давыдов // Гидробиологический журнал. – 2006. – Т. 42, № 2. – С. 98-112

22 Рачинская А. В. Особенности структуры сообщества прибрежного микрофитобентоса в зоне влияния дренажных вод [Текст] / А. В. Рачинская // Екологічні проблеми Чорного моря : міжнародна науково-практична конференція (31 травня - 1 червня, 2007, Одеса) : зб. наук. ст. – Одеса : ІНВАЦ, 2007. – С. 276-280

23 Рачинская А. В. Диатомовые водоросли микрофитобентоса как индикаторы качества морской среды (район г. Ильичевска) [Текст] / А. В. Рачинская // Екологічні проблеми Чорного моря : зб. матеріалів до 6-го міжнародного симпозіуму (11-12 листопада, 2004, Одеса). – Одеса : ОЦНТІ, 2004. – С. 357-362.

24 Thain J. E. Biological effects of contaminants: Oyster (*Crassostrea gigas*) embryo bioassay [Text] / J. E. Thain // Techniques in marine environmental sciences : International Council for the Exploration of the sea : (Copenhagen, February, 1991). – Copenhagen, 1991. – № 11. – P. 3-10

25 Courtright Robert C. Formulation of a synthetic seawater for bioassays with *Mytilus edulis* embryos [Text] / C. Robert Courtright, Wilbur P. Breese, Hugo Krueger. // Water Research. – 1971. – Vol. 5. – P. 877-888

26 Jha Awadhesh N. Detection of genotoxins in the marine environment: adoption and evaluation of an integrated approach using the embryo-larval stages of the marine mussel, *Mytilus galloprovincialis* [Text] / Awadhesh N. Jha, Victoria V. Cheung, Michael E. Foulkes [et al.] // Mutation Research. – 2000. – 464. – P. 213-228

27 Красота Л. Л. Біотестування якості водного довкілля Малого Аджалицького лиману по показниках стану чорноморських мідій різних стадій розвитку // Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції «Річки та лимани Причорномор'я на початку XXI сторіччя»; ОДЕКУ. – Одеса : ТЕС, 2019. – С. 91-93

28 The European Parliament and the Council of the European Union. Directive 2008/105/EC of the European Parliament and of the Council of 16 December 2008 on environmental quality standards in the field of water policy, amending and subsequently repealing Council Directives 82/176/EEC, 83/513/EEC, 84/156/EEC, 84/491/EEC, 86/280/EEC and amending Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council [Text] // Official Journal of the European Union, of 24.12.2008. – 2008. – P. 84-97

29 His Edouard. Monitoring fresh and brackish water quality around shellfish farming areas with a bivalve embryo and larva simplified bioassay method [Text] / Edouard His, Ricardo Beiras // *Oceanologica Acta*. – 1995. – Vol. 18, № 5. – P. 591-595

30 Lowe D. M. Contaminant induced lysosomal membrane damage in blood cells of mussels *M. galloprovincialis* from the Venice Lagoon: an in vitro study [Text] / D. M. Lowe, V. U. Fossato and M. H. Depledge // *Mar. Ecol. Prog. Ser.* – 1995. – 129. – P. 189-196

31 Depledge M. H. The conceptual basis of the biomarker approach [Text] / M. H. Depledge, J. J. Amaral-Mendes, B. Daniel [et al.] // *Biomarkers – Research and Application in the Assessment of Environmental Health*. – Springer ; Berlin ; Heidelberg, 1993. – P. 15-29

32 Lowe D. M. Lysosomal membrane responses in mussels to experimental contaminant exposure [Text] / D. M. Lowe, C. Soverchia, M. N. Moore // *Aquatic Toxicol.* – 1995. – 3. – P. 105-112

33 Moore M. N. Lysosomal and microsomal responses in *Littorina littorea*: further investigations of environmental effects in the vicinity of the Sullom Voe Oil Terminal and effects of experimental exposure to phenanthrene [Text] / M. N. Moore, R. K. Pipe, S. V. Farrar [et al.] // *Oceanic Processes in Marine Pollution – Biological Processes and Waste in the Ocean*. – Melbourne : Krieger Publishing, 1986. – Vol. 1. – P. 89-96

34 Воскресенский К. А. Пояс фильтраторов как биогидрологическая система моря [Текст] / К. А. Воскресенский // *Труды ГОИН*. – М. ; Л. : Гидрометеиздат, 1948. – Вып. 6 (18) – С. 55-120

35 Митилиды Черного моря [Текст] / В. Е. Заика, Н. А. Валовая, А.С. Повчун, Н. А. Ревков ; под отв. ред. В. Е. Заика ; АН УССР. Ин-т биологии южных морей им. А. О. Ковалевского. – К. : Наук. думка, 1990. – 208 с.

36 Костылев Э. Ф. О групповой вариабельности характера фильтрации у черноморских мидий [Текст] / Э. Ф. Костылев, Л. Л. Красота // Гидробиологический журнал АН УССР. – К., 1986. – 9 с. – Деп. в ВИНТИ 8.12.1986, № 8358-B86

37 Миронов Г. Н. Фильтрационная работа и питание мидий Черного моря. [Текст] / Г. Н. Миронов // Тр. Севастопольской биол. ст. – М. ; Л. : Изд-во АН СССР, 1948. – Т. 6. – С. 338-352

38 Бурдин К. С. Основы биологического мониторинга [Текст] / К. С. Бурдин. – М. : МГУ, 1985. – 158 с.

39 Лукьяненко В. И. Общая ихтиотоксикология [Текст] / В. И. Лукьяненко. – М. : Легкая и пищевая промышленность, 1983. – 320 с.

40 Руководство по методам химического анализа морских вод [Текст] : сборник / под ред. С. Г. Орадовского. – Л. : Гидрометеиздат, 1977. – 208 с.

41 Методика изучения биогеоценозов внутренних водоемов [Текст] : сборник / под ред. Ф. Д. Мордухай-Болтовского. – М. : Наука, 1975. – С. 81-117

42 Рябушко Л. И. Сообщества диатомовых водорослей на раковинах моллюсков рода *Mytilus* L. [Текст] / Л. И. Рябушко, В. И. Рябушко // Альгология. – 1998. – Т. 8, № 3. – С. 254-259

43 Рябушко Л. И. Микрофитобентос бухты Казачья Черного моря (Украина) [Текст] / Л. И. Рябушко, В. И. Рябушко // Альгология. – 2001. – Т. 11, № 1. – С. 70-83

44 Неврова Е. Л. Донные диатомовые водоросли на рыхлых грунтах в глубоководной части устья Севастопольской бухты (Черное море) [Текст] / Е. Л. Неврова // Альгология. – 1999. – Т. 9, № 1. – С. 43-53

45 Руководство по методам биологического анализа морской воды и донных отложений [Текст] / под ред. А. В. Цыбань. – Л. : Гидрометеиздат, 1980. – С. 100-105, 166-177

46 Борисова Е. В. Разнообразие водорослей Украины [Текст] / Е. В. Борисова, Л. Н. Бухтиярова, С. П. Вассер [и др.] // Альгология. – 2000. – Т. 10, № 4. – С. 6-135

47 Рябушко Л. И. Атлас токсичных микроводорослей Черного и Азовского морей [Текст] / Л. И. Рябушко. – НИЦ Вооруженных Сил Украины «Государственный океанариум». – Севастополь : ЭКОСИ-Гидрофизика, 2003. – 140 с.

48 Information on algae that includes terrestrial, marine and freshwater organisms [Electronic resource] / Programming is by P. Kuipers, C. Guiry, M. Guiry, J. Guthrie; – AlgaeBase. – Режим доступа : www.algaebase.org. – 26.12.2019. – Title from the screen

49 List of names of marine organisms, including information on synonymy [Electronic resource] / David Berlind Editor in Chief ProgrammableWeb.com WoRMS; – World Register of Marine Species. – Режим доступа : <http://www.marinespecies.org>. – 24.12.2019. – Title from the screen

50 Окснюк О. П. Оценка состояния водных объектов Украины по гидробиологическим показателям. Бентос, перифитон и зоофитос [Текст] / О. П. Окснюк, Л. Н. Зимбалева, А. А. Протасов [и др.] // Гидробиологический журнал. – 1994. – Т. 30, № 4. – С. 31-35

51 Стрелков Р. Б. Метод вычисления стандартной ошибки и доверительных интервалов средних арифметических величин с помощью таблицы [Текст] / Р. Б. Стрелков. – Сухуми : Алашара, 1966. – 41с.

52 Ходаков И. В. Использование ранних стадий эмбрионального развития черноморской мидии *Mytilus galloprovincialis* Lam. для биотестирования природных и сточных вод [Текст] / И. В. Ходаков, С. Е. Дятлов, А. Г. Петросян // Гидробиологический журнал. – 1996. – Т. 32, № 5. – С. 67-77

53 Соловьева О. В. Роль митилид (Mollusca: Mytilidae) в процессах самоочищения морской воды от нефтяных углеводородов [Текст] / О. В. Соловьева // Экология моря. – 2007. – Вып. 73. – С. 91-100

54 Заика В. Е. Особенности фильтрации мидии в опытах с «Двуслойной водой» и влияние сезонного термоклина на мидийные поселения в Черном море

[Текст] / В. Е. Заика // Мор. экол. журн. – 2007. – Т. VI, вып. № 2. – С. 39-43

55 Шульман Г. Е. Физиолого-биохимическая индикация и мониторинг состояния гидробионтов Черного моря [Текст] / Г. Е. Шульман // Гидробиологический журнал. – 1999. – Т. 35, № 1. – С. 42-52

56 Bayne B. L. Responses of *Mytilus edulis* L to Low Oxygen Tension. Acclimation of the Rate of Oxygen consumption [Text] / B. L Bayne., D. R. Livingstone // J. Comp. Physiol. – 1977. – 114. – P. 29-142

57 Столбов А. Я. Респираторный метаболизм черноморских мидий *Mytilus galloprovincialis* в условиях дефицита кислорода (экспериментальные исследования) [Текст] / А. Я. Столбов, О. Ю. Вялова // Экология моря. – 2001. – Вып. 56. – С. 59-62

58 Сытник Н. А. О влиянии массы тела, температуры и солености воды на интенсивность дыхания устрицы (*Ostrea edulis*) [Текст] / Н. А. Сытник // Біорізноманіття та роль тварин в екосистемах : мат. V Міжнародн. наук. конф. – Днепропетровск, 2009. – С. 88-89

59 Diaz J. R. Marine benthic hypoxia: a review its ecological effects and the behavioural responses of benthic macrofauna [Text] / J. R. Diaz, R. Rosenberg // Oceanography and Marine Biology Annual Review. – 1995. – 33. – P. 245-303

60 Famme P. Effect of shell valve closure by the mussel *Mytilus edulis* L. on the rate of oxygen consumption in declining oxygen tension [Text] / P. Famme // Comparative Biochemistry and Physiology. – 1980. – 67. – P. 167-170

61 West T. G. Metabolic suppression in anoxic frog muscle [Text] / T. G. West, R. G. Boutilier // Journal of Comparative Physiology. – 1998. – 168. – P. 273-280

62 Zwaan A. de. Anaerobic metabolism in Bivalvia (Mollusca). Characteristics of anaerobic metabolism [Text] / A. Zwaan de, A. Wijsman // Comparative Biochem. Physiology. – 1976. – 54B. – P. 313-324

63 Wu R Hypoxia: from molecular responses to ecosystem responses [Text] / R. Wu // Marine Pollution Bulletin. – 2002. – 45. – P.35-45

64 Кулаковский Э. Е. Рост мидии обыкновенной в Белом море в естественных условиях и в условиях марикультуры [Текст] / Э. Е. Кулаковский, А. А. Сухотин // Экология. – 1986. – № 2. – С. 35-43

65 Кулаковский Э. Е. Биологические основы марикультуры мидий в Белом море [Текст] / Э. Е. Кулаковский // Исследования фауны морей. – СПб : Наука, 2000. – Вып. 50(58). – 168 с.

66 Горомосова С. А. Дыхание и экскреция метаболитов как показатели функционирования популяции мидий [Текст] / С. А. Горомосова, В. А. Таможняя // IV Всесоюз. конф. по промысловым беспозвоночным : (апрель 1986 г., г. Севастополь) : тезисы докладов. / Министерство рыбного хозяйства СССР, Академия наук УССР. – М., 1986. – Ч. 2. – С. 206-207

67 Widdows J. Physiological measurement. [Text] / J. Widdows // The effect of stress and pollution on marine animals. – New York: Praeger Scientific, 1985. – P. 3-45

68 Брайко В. Д. Сезонные изменения в дыхании мидий [Текст] / В. Д. Брайко, С. С. Дерешкевич // Биология моря. – 1978. – Вып. 44. – С. 31-36

69 Горомосова С. А. Основные черты биохимии энергетического обмена мидий [Текст] / С. А. Горомосова, А. З. Шапиро. – М. : Лег. и пищ. пром-сть, 1984. – 119 с.

70 Тимофеев В. В. Сезонные изменения скорости энергетического обмена черноморской мидии [Текст] / В. В. Тимофеев // IV Всесоюз. конф. по промысловым беспозвоночным : (апрель 1986 г., г. Севастополь) : тезисы докладов. / Министерство рыбного хозяйства СССР, Академия наук УССР. – М., 1986. – Ч. 2. – С. 300-301

71 Дедю И. И. Экологический энциклопедический словарь [Текст] / И. И. Дедю. – Кишинев : Гл. ред. молд. сов. энцикл., 1990. – 406 с.

72 Зайцев Ю. П. Ключевая роль контурных биотопов и их биоценозов в экологии морской среды [Текст] / Ю. П. Зайцев // Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка. Серія : Біологія. Спеціальний випуск : Гідроекологія. – 2015. – № 3-4 (64). – С. 235-238

73 Кузьмина Н. С. Влияние сточных вод на морские водоросли [Текст] / Н. С. Кузьмина, И. И. Руднева // Альгология. – 2005. – Т. 15, № 1. – С. 128-141

74 Рябушко Л. И. Продукционные характеристики фитоперифитона экспериментальных стеклянных пластин и фитопланктона в Карантинной бухте (Крымское побережье Черного моря) [Текст] / Л. И. Рябушко, Д. С. Балычева, В. Н. Поповичев [и др.] // Альгология. – 2014. – Т. 24, № 4. – С. 504-517

75 Рябушко Л. И. Сравнение видового состава и количественных характеристик диатомовых водоростей микрофитобентоса Крымского побережья Черного и Азовского морей [Текст] / Л. И. Рябушко, Р. И. Ли, А. В. Бондаренко, Д. С. Лохова // Диатомовые водоросли: морфология, систематика, флористика, экология, палеогеография, биостратиграфия : материалы XII междунар. науч. конф. диатомологов : (19-24 сентября 2011 г., Москва). – М. : Университетская книга, 2011. – С. 202-205

76 Ковальчук Ю. Л. Диатомовые обрастания твердых субстратов [Текст] / Ю. Л. Ковальчук, Е. Л. Неврова, Е. А. Шалаева – М. : Товарищество научных изданий КМК, 2008. – С. 38

77 Бодяну Н. Микрофитобентос [Текст] / Н. Бодяну // Основы биологической продуктивности Черного моря / под. отв. ред. В. В. Грезе. – К. : Наукова думка, 1979. – С. 109-122

ДОДАТОК А

ТАКСОНОМІЧНИЙ СКЛАД МІКРОФІТОБЕНТОСУ ВОДНОГО МАСИВУ СW5 ПЗЧМ В 2024 РОЦІ

Таблиця А.1 – Видовий склад мікрофітобентосу водного масиву СW5 ПЗЧМ у 2024 році

Примітки. 1 – На жовтому тлі наведені назви потенційно токсичних водоростей. 2 – Жирний шрифт означає масовий розвиток видів мікрофітів на субстратах. 3 – Літера «а» показує наявність аномальних клітин. 4 – Скорочені позначки субстратів: б – бетон, ч – черепашник, см – стулки мідій, п – пісок.

№ з/п	Види та різновиди	Яхт-клуб			Пляж «Дельфін»			Мис Малий Фонтан			Пляж «Аркадія»		
		Весна	Літо	Осінь	Весна	Літо	Осінь	Весна	Літо	Осінь	Весна	Літо	Осінь
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Клас Суанорфусеае													
1	<i>Calothrix confervicola</i> C.Agardh ex Bornet & Flahault, 1886									б			б
2	<i>C. scopulorum</i> C.Agardh ex Bornet & Flahault, 1886	б		б			ч, п	б	б	б, п	б	б	б
3	<i>Calothrix sp.</i>											б	
4	<i>Chroococcus minutus</i> (Kützing) Nägeli, 1849	б	б, п	б			ч	б	б	б, см	б	п	б
5	<i>Ch. turgidus</i> (Kützing) Nägeli, 1849			б			ч	б	б	б, см			б

Продовження таблиці А.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
6	<i>Glaucospira laxissima</i> (G.S.West) Simic, Komárek & Dordevic, 2014								п				
7	<i>Gloeocapsopsis crepidinum</i> (Thuret) Geitler ex Komárek, 1993	б	б, п, см	б, см		б, п, см	ч	б	б, см	б, см	б	б	б
8	<i>Leptolyngbya fragilis</i> (Gomont) Anagnostidis & Komárek, 1988	б, п	б, п, см	б, п, см	б, п	б, п, см	ч, п	б, п	б, п, см	б, см	б, п	б, п	б, п
9	<i>Lyngbya confervoides</i> C.Agardh ex Gomont, 1892	б,	б, см	б, см		п	ч	б	б, см	б, см	б	б	б
10	<i>L. majuscula</i> Harvey ex Gomont, 1892			см						см			
11	<i>Merismopedia elegans</i> A.Braun ex Kützing, 1849	п	п	п, см			п					п	
12	<i>M. glauca</i> (Ehrenberg) Kützing, 1845		б, п			п	п						
13	<i>M. tenuissima</i> Lemmermann, 1898				б					см			
14	<i>M. tranquilla</i> (Ehrenberg) Trevisan, 1845			б		см							

Продовження таблиці А.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
15	<i>Microcystis aeruginosa</i> (Kützing) Kützing, 1846	б	п	см					б	б			
16	<i>Microcystis sp.</i>	б, п	б, п, см	б, п, см	б, п	б, п, см	ч, п	б, п	б, п, см	б, п, см	б, п	б, п	б, п
17	<i>Oscillatoria limosa</i> C.Agardh ex Gomont, 1892		б, п	б, см		б	п			б, см			б
18	<i>Phormidium nigroviride</i> (Thwaites ex Gomont) Anagnostidis & Komárek, 1988			п, см		б				см			
19	<i>Phormidium sp.</i>			см						см			
20	<i>Pseudophormidium battersii</i> (Gomont) Anagnostidis, 2001								см				
21	<i>Schizothrix septentrionalis</i> Gomont, 1899			б				б		б	б	б	б
22	<i>Schizothrix sp.</i>			б									
23	<i>Spirulina subsalsa</i> Oersted ex Gomont, 1892		б, п, см	см	б	б, п			б, см	см			
	Всього синьо- зелених	7 б, 3 п	8 б, 9 п, 5 см	11 б, 4 п, 11 см	4 б, 2 п	6 б, 6 п, 4 см	7 ч, 6 п	8 б, 2 п	9 б, 3 п, 6 см	11 б, 2 п, 12 см	7 б, 2 п	7 б, 4 п	10 б, 2 п

Продовження таблиці А.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
11	<i>Gymnodinium agiliforme</i> Schiller, 1928												п
12	<i>G. kowalevskii</i> Pitzik, 1967		б	п, см			п		п	п, см		б, п	б, п
13	<i>G. lacustre</i> J.Schiller, 1933									см		б	
14	<i>Gymnodinium sp.</i>						п						
15	<i>Gyrodinium fusiforme</i> Kofoed & Swezy, 1921			см						п		б	
16	<i>Kryptoperidinium triquetrum</i> (Ehrenberg) U.Tillmann, M.Gottschling, M.Elbrächter, W.H.Kusber & M.Hoppenrath, 2019	п		п	п					п			
17	<i>Lingulaulax polyedra</i> (F.Stein) M.J.Head, K.N.Mertens & R.A.Fensome 2024									см		б	п

Продовження таблиці А.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
18	<i>Peridiniella danica</i> (Paulsen) Y.B.Okolodkov & J.D.Dodge, 1995										б		
19	<i>Prorocentrum compressum</i> (Bailey) T.H.Abé ex J.D.Dodge, 1975									б			
20	<i>P. cordatum</i> (Ost.) Dodge, 1976	б, п	б, п, см	б, п, см	б, п	б, п	ч, п	б	б, см	п, см	б, п	б, п	б, п
21	<i>P. micans</i> Ehrenberg, 1834		б, п, см	см		б, п			б, п, см			б	
22	<i>Scrippsiella acuminata</i> (Ehrenberg) Kretschmann, Elbrächter, Zinssmeister, S.Soehner, Kirsch, Kusber & Gottschling, 2015		б, п	п, см	п	п	ч, п	п	б	см		б, п	п
23	<i>Triplos furca</i> (Ehrenberg) F.Gómez, 2013											б	
24	<i>T. fusus</i> (Ehrenberg) F.Gómez, 2013											б	
	Всього дінофітових	1 б, 3 п	8 б, 5 п, 3 см	2 б, 7 п, 6 см	3 б, 3 п	4 б, 4 п, 1 см	2 ч, 5 п	1 б, 1 п	4 б, 3 п, 2 см	1 б, 4 п, 6 см	3 б, 2 п	9 б, 3 п	3 б, 6 п

Продовження таблиці А.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Клас Cryptophyceae													
1	<i>Hillea fusiformis</i> (J.Schiller) J.Schiller, 1925	б, п	б, п, см	б, п, см	б, п	б, п, см	ч, п	б, п	б, п, см	б, п, см	б, п	б, п	б, п
	Всього криптофітових	1 б, 1 п	1 б, 1 п, 1 см	1 б, 1 п, 1 см	1 б, 1 п	1 б, 1 п, 1 см	1 ч, 1 п	1 б, 1 п	1 б, 1 п, 1 см	1 б, 1 п, 1 см	1 б, 1 п	1 б, 1 п	1 б, 1 п
Клас Coccolithophyceae													
1	<i>Coccolithus sp.</i>								б				
2	<i>Gephyrocapsa huxleyi</i> (Lohmann) P.Reinhardt, 1972	б, п	б, п, см	б, п, см	б, п	б, п, см	ч, п	б, п	б, п, см	б, п, см	б, п	б, п	б, п
3	<i>Syracolithus dalmaticus</i> (Kamptner) Leoblich Jr. & Tappan, 1966		п, см	п	п				п	см	б	п	
	Всього кокколітових	1 б, 1 п	1 б, 2 п, 2 см	1 б, 2 п, 1 см	1 б, 2 п	1 б, 1 п, 1 см	1 ч, 1 п	1 б, 1 п	2 б, 2 п, 1 см	1 б, 1 п, 2 см	2 б, 1 п	1 б, 2 п	1 б, 1 п
Клас Bacillariophyceae													
1	<i>Achnanthes brevipes</i> C.Agardh, 1824	б, п	б, см	см	б	б, см	ч	б	б, см	б, см	б-а	б	б
2	<i>A. longipes</i> C.Agardh, 1824	б, п	б, п, см	см	б	б, п, см	ч	б	см	см	б, п	б	б
3	<i>A. lyrata</i> Proschkina- Lavrenko, 1961	п	п		п		п					б	

Продовження таблиці А.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
4	<i>Amphora ovalis</i> (Kützing) Kützing, 1844		п							см			
5	<i>A. proschkiniana</i> Gusliakov, 1987	п	б, п	п, см	б	б	ч, п		б, см	б, см		п	
6	<i>A. proteus</i> Gregory, 1857	б,	б, п, см	п, см		п,			см	см			б
7	<i>Anomoeoneis sphaerophora</i> E.Pfitzer, 1871		п	п			п						
8	<i>Aulacoseira granulata</i> (Ehrenberg) Simonsen, 1979					п							
9	<i>Auricula insecta</i> (Grunow) A.Schmidt, 1894		п										
10	<i>Bacillaria paxillifera</i> (O.F.Müller) T.Marsson, 1901				б								
11	<i>Bacteriastrum hyalinum</i> Lauder, 1864						ч						
12	<i>Berkeleya rutilans</i> (Trentepohl ex Roth) Grunow, 1880	б			б			б	б		б		

Продовження таблиці А.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
13	<i>Caloneis liber</i> (W.Smith) Cleve, 1894	п	п, см	см		б			см	см			
14	<i>C. westii</i> (W.Smith) Hendey, 1964		п										
15	<i>Carinasigma rectum</i> (Donkin) G.Reid, 2012			см					см	см			
16	<i>Chaetoceros borgei</i> Lemmermann, 1904		п	п		п	п						
17	<i>Ch. curvisetus</i> Cleve, 1889		п			б				см			п
18	<i>Ch. lorenzianus</i> Grunow, 1863	п											
19	<i>Ch. peruvianus</i> Brightwell 1856	п	п										
20	<i>Ch. similis</i> f. <i>solitarius</i> Proschkina-Lavrenko, 1955	б, п			п								
21	<i>Cocconeis costata</i> W.Gregory, 1855		б-а, п, см	п, см	б, п	б, п, см	п	б	б, п, см	п, см	б, п	б, п	б, п
22	<i>C. distans</i> W.Gregory, 1855				б								
23	<i>C. pediculus</i> Ehrenberg, 1838		б-а, п, см			б, п, см			см				

Продовження таблиці А.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
24	<i>C. placentula</i> Ehrenberg, 1838		см							см			
25	<i>C. scutellum</i> Ehrenberg, 1838		б, п, см	см	б, п	б, п, см	п		б, п, см	см	б, п-а		
26	<i>C. scutellum f. parva</i> Grunow, 1880		б, см			см					б		
27	<i>Coscinodiscus</i> <i>radiatus</i> Ehrenberg, 1840			см						см			
28	<i>Cyclotella</i> <i>choctawhatcheeana</i> Prasad, 1990		п	см	б	п, см			см			б	б
29	<i>Cylindrotheca</i> <i>closterium</i> (Ehrenberg) Reimann & J.C.Lewin, 1964	б, п	б, п, см	б, п, см	б, п	п, см	ч, п	б, п	б, п, см	п, см	б, п	б, п	
30	<i>Diatoma tenuis</i> C.Agardh, 1812	б, п	б, п, см	см	б, п	б, п, см		б, п	см	см	б, п	б	
31	<i>D. vulgaris</i> Bory de Saint-Vincent, 1824	б, п	см	п, см	б	б, п, см	ч	б	б, см	см	б	б	
32	<i>D. vulgaris var. brevis</i> <i>f. typica</i> Mayer, 1940	б, п	б, п, см	б, п, см	б, п	б, п, см	ч, п	б	б, см	п, см	б, п	п	б
33	<i>Diploneis bombus</i> (Ehrenberg) Ehrenberg, 1853	п	п		б								

Продовження таблиці А.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
34	<i>D. oblongella</i> (Nägeli ex Kützing) Cleve-Euler, 1922	п	п			б							
35	<i>D. smithii</i> var. <i>pumila</i> (Grunow) Hustedt, 1937		п	п		п							
36	<i>Entomoneis alata</i> (Ehrenberg) Ehrenberg, 1845		п										
37	<i>Grammatophora marina</i> (Lyngbye) Kützing, 1844	б, п	б, п, см	п	б	б, п, см			см	см			
38	<i>Gyrosigma acuminatum</i> (Kützing) Rabenhorst, 1853					б							
39	<i>Halamphora coffeaeformis</i> (C.Agardh) Levkov, 2009	б, п	б, п, см	б, п, см	б, п	б, п	ч, п				п		
40	<i>H. cymbifera</i> (Gregory) Levkov, 2009	п	п	п, см	б	п	п			см		п	
41	<i>H. eunotia</i> (Cleve) Levkov, 2009	п	б, п, см	п		б, п	п		п		п		
42	<i>H. exigua</i> (Gregory) Levkov, 2009						п						

Продовження таблиці А.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
43	<i>H. hyalina</i> (Kützing) Rimet & R. Jahn in Rimet et al., 2018		п										
44	<i>H. terroris</i> (Ehrenberg) Wang in Wang et al., 2014			п									
45	<i>Licmophora</i> <i>communis</i> (Heiberg) Grunow, 1881	б											
46	<i>L. dalmatica</i> (Kützing) Grunow, 1867		б										
47	<i>L. ehrenbergii</i> (Kützing) Grunow, 1867		п			б, п							
48	<i>L. gracilis</i> (Ehrenberg) Grunow, 1867	б	б	б, см		б, п	ч	б		б, см			б
49	<i>L. ovulum</i> Mereschkovsky, 1902			см	б		ч	б		см			
50	<i>Lyrella atlantica</i> (Schmidt) D.G.Mann, 1990	п	п	п			п				п		
51	<i>L. lyra</i> (Ehrenberg) Karajeva, 1978	п	п	п		п					б		
52	<i>Mastogloia braunii</i> Grunow, 1863		п										
53	<i>M. pumila</i> Cleve, 1895			п, см			п						

Продовження таблиці А.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
54	<i>M. smithii</i> Thwaites ex W.Smith, 1856						п						
55	<i>Melosira moniliformis</i> (O.F.Müller) C.Agardh, 1824	б, п	п, см	см	б	б, см							
56	<i>M. moniliformis</i> var. <i>subglobosa</i> (Grunow) Hustedt, 1927	п	б, см	см	б	б, п	ч						
57	<i>Navicula cancellata</i> Donkin, 1872	п	п	п	п	п	п						
58	<i>N. cryptocephala</i> Kützinger, 1844	б, п	п, см	п, см	б	п, см	п				п	п	
59	<i>N. digitoradiata</i> (Gregory) Ralfs, 1861				б								
60	<i>N. directa</i> (W.Smith) Ralfs in Pritchard, 1861	п	б, п, см	см	б, п	б	ч, п		см	см	п	б	
61	<i>N. menisculus</i> Schumann, 1867							б					
62	<i>N. palpebralis</i> Brébisson ex W.Smith, 1853										п		
63	<i>N. pennata</i> A.Schmidt, 1876	б, п	б, п, см	б, см	б	б, п	ч	б	б, см	п, см	б	б	
64	<i>N. peregrina</i> (Ehrenberg) Kützinger, 1844		б, п, см	б, п, см	б	п	ч		б, см				

Продовження таблиці А.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
65	<i>N. ramosissima</i> (C.Agardh) Cleve, 1895	б, п	б, п, см	б, п, см	б, п	б, п, см	ч, п	б, п	б, п, см	б, п, см	б, п	б, п	п
66	<i>Nitzschia amphibia</i> Grunow, 1862			п						б		б	
67	<i>N. angularis</i> W.Smith, 1853									б			
68	<i>N. communis</i> Rabenhorst, 1860		б										
69	<i>N. commutata</i> Grunow, 1880						п						
70	<i>N. hybrida</i> Grunow												б
71	<i>N. lanceolata</i> W.Smith, 1853			б		п			б, см	б	б		б
72	<i>N. lanceolata f. minor</i> Grunow in Van Heurck, 1881		п	б			ч	б	см	б	б	б	б
73	<i>N. lorenziana</i> Grunow, 1879			см						см			
74	<i>N. pusilla</i> Grunow, 1862			б, см	б					б, см			б
75	<i>N. sigma</i> (Kützing) W.Smith, 1853		п			б							
76	<i>N. vitrea</i> G.Norman, 1861			б		п		б					

Продовження таблиці А.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
77	<i>Paralia sulcata</i> (Ehrenberg) Cleve, 1873	п	см			б, п							
78	<i>Parlibellus delognei</i> (Van Heurck) E.J.Cox, 1988	б	б, п, см	б, см	б	б, см		б	б, см	см	б		
79	<i>Petroneis humerosa</i> (Brébisson ex W.Smith) A.J.Stickle & D.G.Mann, 1990		п	п									
80	<i>Pinnularia quadratarea</i> (A.Schmidt) Cleve, 1895									см			
81	<i>Planothidium delicatum</i> (Kützing) Round & Bukhtiyarova, 1996	п	п	п		п	ч, п			п		п	
82	<i>P. lanceolatum</i> (Brébisson ex Kützing) Bukhtiyarova, 1999	п	п	п, см			ч, п		п	п	п	п	
83	<i>Pleurosigma angulatum</i> (Queckett) W.Smith, 1852			см	б,	б				см			
84	<i>P. elongatum</i> W.Smith, 1852								см		п		

Продовження таблиці А.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
85	<i>Pleurosira laevis</i> (Ehrenberg) Compère, 1982		б, п										
86	<i>Pseudo-nitzschia delicatissima</i> (Cleve) Heiden, 1928	п				п			см				
87	<i>Pseudosolenia calcar- avis</i> (Schultze) B.G.Sundström, 1986									см			
88	<i>Rhoicosphenia abbreviata</i> (C.Agardh) Lange- Bertalot, 1980	б	б, п, см	см	б	б, п, см		б	б, см	см	б, п	б, п	б, п
89	<i>Skeletonema costatum</i> (Greville) Cleve, 1873				б			б			б, п		
90	<i>Stauroneis simulans</i> (Donk.) Ross ex Hartley, 1986			см	б		ч		см	см			
91	<i>Staurophora salina</i> (W.Smith) Mereschkowsky, 1903		п			б				см			
92	<i>Striatella delicatula</i> (Kützing) Grunow ex Van Heurck, 1881	б, п	б, п	п	б, п	п	п				п		п

Продовження таблиці А.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
93	<i>S. interrupta</i> (Ehrenberg) Heiberg, 1863		п										
94	<i>S. unipunctata</i> (Lyngbye) C.Agardh, 1832		п										
95	<i>Surirella fastuosa</i> Ehrenberg			п									
96	<i>S. minuta</i> Brébisson, 1849										п		
97	<i>S. ovalis</i> Brébisson, 1838		п										
98	<i>Tabularia fasciculata</i> (C.Agardh) D.M.Williams & Round, 1986	б, п	б, п, см	см	б-а, п	б, п, см		б, п	б, см	см	б, п	б, п	
99	<i>T. gaillonii</i> (Bory de Saint-Vincent) Bukhtiyarova, 1995			см-а	б	б, см			см	см	б		
100	<i>Thalassiosira baltica</i> (Grunow) Ostefeld, 1901	б	см		б, п					см			
101	<i>Th. parva</i> Proschkina- Lavrenko, 1955				б								

Продовження таблиці А.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
102	<i>Trachyneis aspera</i> (Ehrenberg) Cleve, 1894				б								
103	<i>Ulnaria ulna</i> (Nitzsch) P.Compère in Jahn et al., 2001	б		см	б, п	б, п, см		б		б, см	б, п		
	Всього діатомових	23 б, 33 п	27 б, 53 п, 28 см	12 б, 27 п, 36 см	39 б, 15 п	32 б, 35 п, 20 см	19 ч, 23 п	20 б, 4 п	14 б, 6 п, 28 см	10 б, 7 п, 36 см	21 б, 21 п	15 б, 11 п	12 б, 5 п
Клас Chlorophyceae													
1	<i>Ankistrodesmus arcuatus</i> Korshikov, 1953	п	см		б, п	б, см		п	б, см		б, п	п	
	Всього зелених	1 п	1 см		1 б, 1 п	1 б, 1 см		1 п	1 б, 1 см		1 б, 1 п	1 п	
Клас Trebouxiophyceae													
2	<i>Oocystis borgei</i> J.W.Snow, 1903		п										
	Всього требуксієфіційних		1 п										
Інші види N/A К (Chromista)													
1	<i>Flagellata sp.</i>	б, п	б, п, см	б, п, см	б, п	б, п, см	ч, п	б, п	б, п, см	б, п, см	б, п	б, п	б, п
2	<i>Flagellata sp.</i> ₂									см			

Кінець таблиці А.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
	Всього флагеллят	1 б, 1 п	1 б, 1 п, 1 см	1 б, 1 п, 1 см	1 б, 1 п	1 б, 1 п, 1 см	1 ч, 1 п	1 б, 1 п	1 б, 1 см	1 б, 1 п, 2 см	1 б, 1 п	1 б, 1 п	1 б, 1 п
	Разом видів мікрофітобентосу	34 б, 43 п	46 б, 73 п, 41 см	29 б, 42 п, 56 см	50 б, 25 п	46 б, 48 п, 29 см	32 ч, 37 п	32 б, 11 п	32 б, 16 п, 40 см	25 б, 16 п, 59 см	36 б, 29 п	34 б, 24 п	28 б, 16 п

ДОДАТОК Б
СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ПО ТЕМІ ДАНОЇ НАУКОВО-ДОСЛІДНОЇ
РОБОТИ

1 Красота Л. Л. Моніторинг стану довкілля Одеського прибережжя за методами біотестування та біоіндикації [Текст] / Л. Л. Красота, О. В. Рачинська // Перспективи гідроекологічних досліджень в контексті локальних та глобальних наслідків ведення воєнних дій: IX з'їзд Гідроекологічного товариства України : зб. мат. (Дніпро, 18-20 вересня 2024 р). – Дніпро, 2024. – С. 203-205. – Режим доступу: https://www.dnu.dp.ua/docs/ndc/2024/materiali_konferenc/Hidrobiol_Zizd.pdf. –

25.12.2024. – Назва з екрану

2 Рачинська О. В. Мікрофітобентос як універсальний біоіндикатор якості морського довкілля Одеського прибережжя [Текст] / О. В. Рачинська // XV з'їзд Українського ботанічного товариства : матеріали (Івано-Франківськ, 30 вересня – 4 жовтня 2024). – Одеса : Видавничий дім «Гельветика», 2024. – С. 15. – Режим доступу: http://www.botany.kiev.ua/doc/XV_UBT_proceedings.pdf. – 25.12.2024. –

Назва з екрану