

ЗАГАЛЬНА ГІДРОБІОЛОГІЯ

УДК 574.58:551.583(262.5-13)(477.74)

Г.В. ТЕРЕНЬКО, к. б. н., ст. наук. співроб.,
Український науковий центр екології моря,
бул. Французький, 89, Одеса, 65009, Україна
Французький науково-дослідний інститут експлуатації моря, Іфремер,
F-29900, Конкарно, Франція
e-mail: terenkogalina@gmail.com
ORCID 0000-0002-5109-337X

О.В. СОКОЛОВСЬКА, пров. фахівець,
Український науковий центр екології моря,
бул. Французький, 89, Одеса, 65009, Україна
e-mail: olenasokolovska74@gmail.com
ORCID 0009-0006-7607-3670

О.Ф. КРАХМАЛЬНИЙ, к. б. н., ст. наук. співроб.,
Інститут еволюційної екології НАН України,
вул. Академіка Лебедева, 37, Київ, 03143, Україна
e-mail: alexkrakhalnyi@gmail.com
ORCID 0000-0003-2068-8669

ФІТОПЛАНКТОН ПІВНІЧНО-ЗАХІДНОЇ ЧАСТИНИ ЧОРНОГО МОРЯ В РАЙОНІ м. ОДЕСИ В УМОВАХ ТЕХНОГЕННОЇ КАТАСТРОФИ¹

У 2023 р. північно-західна частина Чорного моря зазнала суттєвих екологічних змін через руйнування Каховської ГЕС. Великий обсяг прісної води з біогенними речовинами та підвищення температури спричинили активний розвиток ціанобактерій і зелених водоростей, «цвітіння» води влітку та «червоні припливи» внаслідок масового розвитку динофітових водоростей восени. Основу альгоценозів становили представники *Bacillariophyta*, *Dinophyta*, *Chlorophyta* та *Cyanobacteria*, однак їхнє співвідношення істотно змінювалося під впливом стресових чинників. Середньомісячна чисельність фітопланктону у 2023 р. коливалася від 84 до 4306 тис. кл/дм³, біомаса — від 0,073 до 3,778 мг/дм³; індекс Шеннона у 2023—2024 рр. — від 1,10 до 3,58 біт/екз., що свідчить про структурну нестабільність угруповань водоростей у відповідь на екстремальні гідрологічні зміни. Попри зростання рівня евтрофікації та сплески чисельності і біомаси, біоіндикатори вказують на ознаки адаптації

¹ Роботу виконано в рамках наукової теми «Оцінка та діагноз стану морського довкілля України в межах територіальних вод і виключної морської економічної зони та уточнення критеріїв оцінки доброго екологічного стану морських регіонів» (№ держреєстрації 0122U201787) та наукової програми «Підтримка розвитку пріоритетних напрямів наукових досліджень в Україні» (КПКВК 6541230).

Ц и т у в а н н я: Теренько Г.В., Соколовська О.В., Крахмальний О.Ф. Фітопланктон північно-західної частини Чорного моря в районі м. Одеси в умовах техногенної катастрофи. *Гідробіол. журн.* 2026. Т. 62, № 3. С. 3—17.

фітопланктону до нових умов і на поступову стабілізацію екосистеми. Отримані результати свідчать про високу чутливість фітопланктону до гідрологічних збурень і підкреслюють його значення як індикаторної групи для моніторингу водних екосистем в умовах техногенної катастрофи.

Ключові слова: фітопланктон, Чорне море, екологічний стан, Каховська ГЕС, техногенна катастрофа.

Фітопланктон є ключовим компонентом морських екосистем, який виконує функцію первинного продуцента, регулятора біогеохімічних циклів і чутливого індикатора стану водного середовища. Його таксономічна структура, чисельність і біомаса швидко реагують на фізико-хімічні параметри водного середовища — солоність, температуру, вміст біогенних елементів і рівень антропогенного навантаження.

Північно-західна частина Чорного моря (ПЗЧМ), зокрема Одеська затока, є однією з найбільш уразливих його ділянок через мілководність, підвищену трофічність і безпосередній вплив річкових стоків Дніпра, Дунаю, Дністра, Південного Бугу та малих водотоків. Протягом останніх десятиліть у цьому регіоні спостерігається тенденція до зростання частоти та інтенсивності масового «цвітіння» води, спричиненого розвитком токсичних або потенційно токсичних видів водоростей.

До початку наших досліджень у фітопланктоні Одеської затоки було зареєстровано 375 видів та різновидностей водоростей, що відносяться до восьми відділів, серед яких домінували Dinophyta (44 %) та Bacillariophyta (36 %) [4]. У 1990—2008 рр. у холодні періоди року масового розвитку зазвичай досягали діатомові водорості *Chaetoceros rigidus* Ostenfeld, *Stephanodiscus socialis* Makarova & Proshkina-Lavrenko, *Thalassiosira nordenskioldii* Cleve і *Skeletonema costatum* (Greville) Cleve, тоді як у теплу пору переважали динофітові водорості, зокрема *Akashiwo sanguinea* (Hirasaka) Hansen & Moestrup і *Lingulaulax polyedra* (Stein) Head et al. (до 2024 р. цей вид був відомий під іншою назвою — *Lingulodinium polyedra* (Stein) Dodge [10]), *Gymnodinium simplex* (Lohmann) Kofoid & Swezy, *Scripsiella acuminata* (Ehrenberg) Kretschmann et al., *Kryptoperidinium triquetrum* (Ehrenberg) Tillmann et al. та *Prorocentrum cordatum* (Ostenfeld) Dodge) [5, 13].

У червні 2023 р. сталася безпрецедентна техногенна катастрофа — руйнування греблі Каховського водосховища. До морського середовища ПЗЧМ потрапила значна маса прісної води, збагаченої біогенними речовинами, суспендованими частками та забруднюючими речовинами техногенного походження. Це призвело до різкого зниження солоності та підвищення температури води, зменшення її прозорості та потужного біогенного навантаження, що, у свою чергу, викликало різке зростання біомаси фітопланктону та аномальні порушення структурного балансу угруповань водоростей, зокрема появу «зелених» та «червоних» припливів.

Перші дослідження, спрямовані на оцінку стану біоти ПЗЧМ в умовах масштабної гідрологічної катастрофи, були розпочаті вже в перші дні

після цієї події. Було встановлено чотири основні етапи реакції морських екосистем на техногенну катастрофу: 1) гідрологічний залповий удар (06.06.2023 р.), що призвів до різкого зниження солоності до 3,95 ‰; 2) вибухова реакція біоти (12.06—10.07.2023 р.), що супроводжувалась аномальним зростанням чисельності фітопланктону; 3) продукційно—деструкційна фаза (11.07—10.08.2023 р.), під час якої відбулося зниження концентрації кисню та масова загибель гідробіонтів; 4) початок відновлення (11.08.2023—31.08.2023 р.), коли спостерігалася поступова нормалізація екологічних показників. Пік «цвітіння» води, зумовлений розвитком фітопланктону, був зареєстрований 18 червня 2023 р., тобто через 12 днів після катастрофи. При цьому домінували ціанобактерії *Aphanizomenon flos-aquae* Ralfs ex Bornet & Flahault, *Jaaginema kisselevii* (Anisimova) Anagnostidis & Kombræk та діатомова водорість *Skeletonema costatum*. У цей період чисельність фітопланктону зросла більш ніж у 14 разів, а біомаса — більш ніж у 3 рази. Починаючи з липня і до кінця серпня 2023 р. основні показники поступово поверталися до регіональних значень [1].

Хронологічний опис наслідків впливу руйнування греблі Каховської ГЕС на якість морської води в прибережній зоні Одеської агломерації за результатами оперативного екологічного моніторингу в перші тижні після катастрофи наведено у роботі [6]. Зроблено висновок про те, що через накопичені запаси органічної речовини у донних відкладах збільшиться вірогідність виникнення гіпоксійних умов у літні періоди протягом наступних років. Через акумуляцію забруднюючих речовин у донних відкладах та очікуване «вторинне» забруднення морської води відбудеться зменшення біологічного різноманіття морської екосистеми Одеського району моря та погіршення якості біоресурсів.

Також була опублікована стаття про токсичні види динофлагелат, чисельність яких значно збільшилася в Одеській затоці після руйнування греблі Каховської ГЕС [12].

Метою дослідження була оцінка змін у таксономічному складі, чисельності та біомасі фітопланктону, а також якості води у ПЗЧМ (район м. Одеси) у 2022—2024 рр., з акцентом на наслідки техногенної катастрофи. Дослідження базується на комплексному аналізі якісних і кількісних характеристик фітопланктону та застосуванні інтегральних біоіндикаторів для оцінки екологічного стану водного середовища в умовах екологічного стресу.

Матеріал і методика досліджень

Дослідження проводили в прибережній зоні ПЗЧМ у районі м. Одеси в 2022—2024 рр. На жаль на цей час відсутня можливість здійснення обстежень стану морського середовища у цій зоні Чорного моря. Відбір зразків проводили протягом року за сприятливої погоди щотижня на станціях контролю, а саме: у напівзамкненій акваторії Чорноморського Яхт-Клубу (ЧЯК: 46.459798 N, 30.765355 E) та біля мису Малий Фонтан (ММФ: 46.438433 N, 30.7725 E). Зразки відбирали у пластикові пляшки

об'ємом 1,5—2 дм³, а також сіткою Джеді (розмір газу 20 мкм) з поверхневого шару води (0,5—1,0 м). У лабораторії зразки, що були відібрані за допомогою пластикових пляшок, концентрували методом зворотної фільтрації [2, 7]. Кінцевий об'єм доводили до 15—20 см³ та консервували розчином Люголя або 40 %-вим розчином формальдегіду з кінцевою концентрацією 4 %. Підрахунок клітин здійснювали у камері Нажотта під світловим мікроскопом Mikmed-2. Чисельність встановлювали за допомогою шаблону DCT у програмі MicrosoftExcel із використанням макросів VisualBasic. Біомасу визначали стереометричним методом.

Дослідження морфології клітин проводили у Державній установі «Інститут еволюційної екології НАН України» на світловому мікроскопі Olympus BX51 з лінзами UPlan FLN 100x/1.3 Oil та LUMPlan FLN 60x/1.00 Water. Динофлагеляти візуалізували в прохідному світлі та режимі флуоресценції з попереднім фарбуванням клітин за допомогою Calcofluor White M2R [8], або за допомогою диференціального інтерференційного контрасту (DIC, контраст Nomarski).

Температуру води, її солоність і рН вимірювали безпосередньо на місці за допомогою CTD-приладу SBE 19plus (Sea-BirdScientific, США) з перевіреною калібровкою.

Індекс видового різноманіття Шеннона розраховували за методикою [14]. Для побудови графіків використано програму Microsoft Excel. Назви видів, наведені в тексті статті, подаються відповідно до [9].

Результати досліджень та їх обговорення

Таксономічна характеристика фітопланктону ПЗЧМ у районі м. Одеси у 2022—2024 рр. За період досліджень у прибережній зоні Одеської затоки нами було ідентифіковано 213 видових та внутрішньовидових таксонів водоростей (тут і далі, включно з номенклатурним типом виду). Найбільшим видовим багатством характеризувались Bacillariophyta (99 таксонів), Dinophyta (52), Chlorophyta (24), Cyanobacteria (18), інші відділи налічували всього 20 таксонів.

У 2022 р. частка Bacillariophyta становила 50 % визначених таксонів, Dinophyta — 22, Cyanobacteria — 13, Chlorophyta — 5, Chrysophyta — 2, Cryptophyta — 1, інших відділів — 7 %. У 2023 р. частка Bacillariophyta становила 46 %, Dinophyta — 22, Chlorophyta — 15, Cyanobacteria — 11, Chrysophyta — 2, представників інших відділів — 4 %. У 2024 р. основу видового багатства також склали Bacillariophyta (46 %), проте зросла частка Dinophyta (26 %) та зменшилась частка Chlorophyta (12 %), а особливо Cyanobacteria (7 %). Частка інших відділів становила 9 %.

Взимку 2022 р. основу видового багатства фітопланктону становили діатомові водорості (74 % загальної кількості видів), у лютому була помітною частка зелених (23,5 %) та динофітових (11,7 %) водоростей. У червні при зниженні солоності води частка прісноводних водоростей сягала майже 40 %. В липні та серпні у напівзамкненій акваторії ЧЯК спостерігався масовий розвиток діатомової водорості *Cerataulina pelagica* (Cleve) Hendey — майже 96 % загальної кількості клітин. Восени також

були зареєстровані прісноводні види, зокрема ціанобактерії (від 16 до 37,6 %) та діатомові і динофітові водорості, здебільшого морські види.

У 2023 р. взимку переважали діатомові — 30,5 % (домінувала *S. costatum*) та зелені водорості (65 % загальної чисельності), здебільшого внаслідок розвитку *Monoraphidium contortum* (Thuret) Komárková-Legnerová. На початку весни 2023 р. було відмічено «цвітіння» води, викликане масовим розвитком прісноводної динофітової водорості *Chimonodinium lomnickii* (Woloszynska) Graveiro (75 % загальної біомаси), а наприкінці весни у планктоні домінувала дрібноклітинна діатомова водорість *Chaetoceros thronsenii* (Marino, Montresor & Zingone) Marino et al. (92 % загальної чисельності). Слід зауважити, що це нові алохтонні види-вселенці, як для української частини Чорного моря, так і для моря в цілому. *S. lomnickii* був зареєстрований вперше взимку 2011 р. Цей вид відноситься до видів прісноводного генезису та має більшу чисельність виключно в холодну пору року [11]. *C. thronsenii* також новий інвазійний вид нанопланктонних діатомових водоростей, що входить до весняного комплексу фітопланктону [3].

Після катастрофи на Каховській ГЕС спочатку спостерігалось екстремальне «цвітіння» води, викликане прісноводними ціанобактеріями (40—90 % загальної чисельності) та зеленими водоростями (9 %) на фоні зниження солоності води. Після чого восени з'явилося багато динофлагеллят (20 % загальної біомаси) та ціанобактерій (46 % загальної чисельності).

Взимку 2024 р., у січні, домінувала великоклітинна діатомова водорість *Ditylum brightwellii* (West) Grunow (92 % загальної біомаси), у лютому — *Skeletonema costatum* та декілька видів роду *Chaetoceros* Ehrenberg. Навесні було декілька випадків зниження солоності води до 7,0—8,0 ‰, що супроводжувалося домінуванням прісноводних зелених водоростей, зокрема *M. contortum* (70 % загальної чисельності), тоді як за підвищеної солоності до (16,0—17,0 ‰) домінувала *Kryptoperidinium triquetrum*. У липні у пробах з'явився *L. polyedra*, а у вересні-жовтні його кількість вже досягла рівня «червоного припливу» з бурими плямами на воді та сильною флуоресценцією. Крім *L. polyedra* у формуванні «червоного припливу» приймали участь і інші динофітові водорості, переважно представники роду *Protoperidinium* Bergh, клітини яких скупчувалися у плями від рожевого до пурпурового кольору.

Одеська затока характеризується значною кількістю ціанобактерій, які активно вегетують у літній період часу та формують «зелені припливи» при високій температурі води та високому вмісті біогенних елементів. Алохтонний ціанобактеріальний комплекс видів залишився майже на тому самому рівні, що й до катастрофи, однак під час катастрофи роль зелених мікрководоростей в альгоценозі затоки зросла у 3 рази.

Також у 2024 р. в альгоценозі затоки відбулося збільшення кількості динофітових водоростей та зміна видів-збудників «цвітіння» води, які до катастрофи не відігравали такої ролі, як зараз. Одним із таких видів є

K. triquetrum, який в даний час є збудником «цвітіння» води в зимовий та ранньовесняний періоди року та майже витіснив *S. lomnickii*.

Кількісні показники розвитку фітопланктону ПЗЧМ у районі м. Одеси в 2022—2024 рр. Середньорічна чисельність фітопланктону у 2022 р. становила 83 тис. кл/дм³, у 2023 р. — 904 тис. кл/дм³, а у 2024 р. — 369 тис. кл/дм³. Отже, кількість клітин збільшилась після катастрофи в 11 разів і знизилась у 2,5 раза до кінця 2024 р. В середньому за три роки вона становила 452 тис. кл/дм³. Для порівняння, середньорічна чисельність за попередні три роки (2019—2021 рр.) становила 242 тис. кл/дм³ (оригінальні неопубліковані дані). Середньомісячні показники чисельності водоростей у 2022—2024 рр. представлені на рисунку 1.

Середньорічна біомаса у 2022 р. становила 0,182 мг/дм³, у 2023 р. — 0,759 мг/дм³, а у 2024 р. — 0,792 мг/дм³. В середньому за три роки вона становила 0,583 мг/дм³, що у 1,8 раза більше, ніж у попередні три роки. Середньомісячна динаміка біомаси фітопланктону у 2022—2024 рр. представлена на рисунку 2.

У 2022 р. через небезпеку в Одеському районі моря навесні моніторинг не проводили, а в подальшому, до літа 2023 р., досліджували тільки напівзамкнену акваторію ЧЯК, а з літа 2023 р. — ММФ. У ЧЯК періодично виникали спалахи чисельності фітопланктону. Так, у 2022 р. таке підвищення чисельності відмічалось двічі — 20 липня, при температурі води 20,5 °С та солоності 17,6 ‰, активно вегетувала великоклітинна діатомова водорість *S. pelagica*, біомаса якої становила 0,538 мг/дм³ (84 % загальної біомаси). А вже 3 серпня 2022 р., за температури 20,6 °С та солоності 16,6 ‰ у планктоні домінувала *S. costatum*, чисельність якої становила 523 тис. кл/дм³, а біомаса 0,370 мг/дм³, проте була присутня і *S. pelagica* (3 тис. кл/дм³, 0,102 мг/дм³). Крім них вегетували також динофітові водорості *P. cordatum*, *P. micans* Ehrenberg та солонуватоводні ціанобактерії *J. kisselevii* та *Merismopedia elegans* Braun ex Kützing. Загалом, фітопланктон у 2022 р. характеризувався досить низькими середньорічними показниками чисельності та біомаси (див. рис. 1 і 2).

У 2023 р., ще до екстремального «зеленого припливу», викликаного руйнуванням греблі Каховської ГЕС, спостерігалось два максимуми кількісних показників фітопланктону. Перший максимум спостерігали 1 березня, при температурі води 6 °С, солоності 11,5 ‰ та північному вітрі, коли спостерігалось «цвітіння» води, зумовлене масовим розвитком динофітових, діатомових та зелених водоростей. Домінувала серед них прісноводна динофітова водорість *S. lomnickii*, біомаса якої становила 1,557 мг/дм³, а чисельність — 248 тис. кл/дм³. Субдомінантами ранньою весною були діатомова водорість *S. costatum* (561 тис. кл/дм³, 0,069 мг/дм³) та зелена водорість *M. contortum* (206 тис. кл/дм³, 0,017 мг/дм³). Крім них, було знайдено ще 28 видів із загальною чисельністю 1551 тис. кл/дм³ та біомасою 2,141 мг/дм³.

Другий максимум чисельності фітопланктону спостерігали наприкінці травня 2023 р. в акваторії ЧЯК, коли було зафіксовано «цвітіння» води, викликане діатомовою водорістю *S. thronsenii* з чисельністю

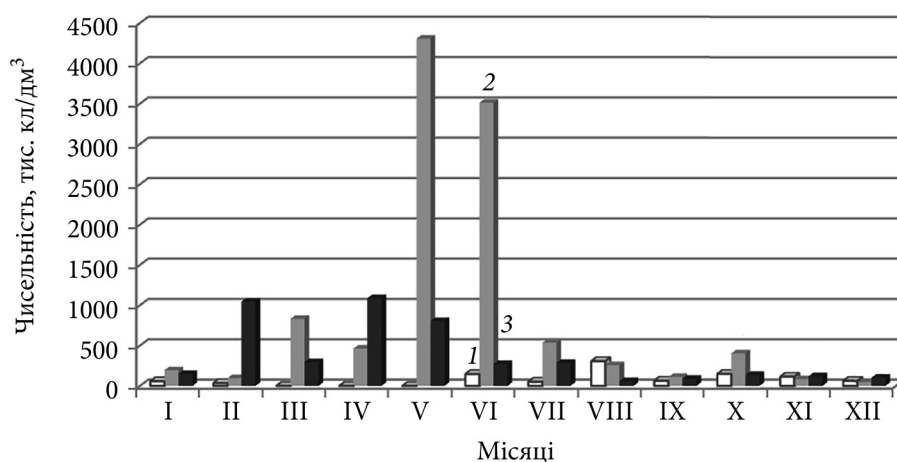


Рис. 1. Середньомісячні показники чисельності фітопланктону в ПЗЧМ біля м. Одеси в різні роки. Тут і на рис. 2 і 3: 1 — 2022 р.; 2 — 2023 р.; 3 — 2024 р.

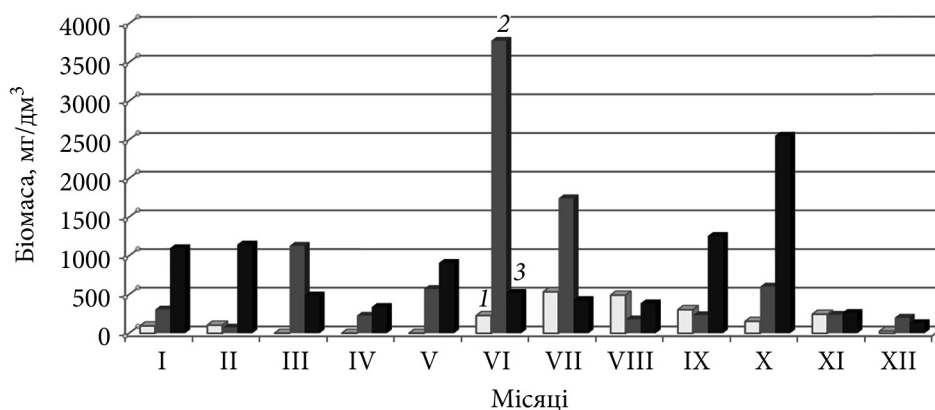


Рис. 2. Середньомісячні показники біомаси фітопланктону в ПЗЧМ біля м. Одеси в різні роки

7662 тис. кл/дм³ та біомасою 0,674 мг/дм³ та *Chaetoceros minimus* (Levander) Marino et al. (52 тис. кл/дм³, 0,010 мг/дм³) за температури води 21 °С та солоності 11 ‰.

Головною подією 2023 р., яка суттєво вплинула на фітопланктон ПЗЧМ та похитнула домінування діатомових водоростей за підсумками року, безумовно, було руйнування греблі Каховського водосховища 6 червня, що спричинило спочатку бурхливе «цвітіння» ціанобактерій, а потім, після короткочасної стабілізації гідрологічного режиму, на фоні відновлення солоності — підвищення кількості динофітових водоростей.

У червні 2023 р., після розливу Каховського водосховища та потрапляння у море великої маси прісної води, фіксувалося «цвітіння» води, викликане переважно масовим розвитком ціанобактерій. Плями «цві-

тіння» дрейфували у морі та реєструвались навіть супутником [1]. Найвищу кількість водоростей у пробі на узбережжі м. Одеси вдалося зареєструвати 14 червня 2023 р. на ММФ. За температури води 19 °С та солоності 5,1 ‰ загальна чисельність фітопланктону досягла 9428 тис. кл/дм³, а загальна біомаса — 10,435 мг/дм³, що майже утричі перевищило середньомісячні показники початку червня 2023 р. У «зеленому припливі» після руйнування греблі Каховської ГЕС домінували *A. flos-aquae* (459 тис. кл/дм³, 2,883 мг/дм³), *Dolichospermum flos-aquae* (Bornet & Flahault) Wacklin et al. (131 тис. кл/дм³, 1,009 мг/дм³) та *Microcystis aeruginosa* (Kützing) Kützing (6393 тис. кл/дм³, 3,346 мг/дм³).

Крім них, були присутні ще дев'ять видів ціанобактерій, серед яких *Limnothrix planctonica* (Wołoszyńska) Meffert (74 тис. кл/дм³, 0,083 мг/дм³), *J. kisselevii* (197 тис. кл/дм³, 0,389 мг/дм³), *Pseudanabaena limnetica* (Lemmermann) Komárek (213 тис. кл/дм³, 0,562 мг/дм³), *Merismopedia minima* Beck (13 тис. кл/дм³, 0,001 мг/дм³) та 19 видів зелених водоростей. Крім звичного для ПЗЧМ *M. contortum* (295 тис. кл/дм³, 0,021 мг/дм³) траплялись також *Ankistrodesmus falcatus* (Corda) Ralfs (41 тис. кл/дм³, 0,131 мг/дм³), *Pseudopediastrum boryanum* (Turpin) Hegewald (4,9 тис. кл/дм³, 0,079 мг/дм³), *Oocystis borgei* Snow (78 тис. кл/дм³, 0,001 мг/дм³), *Coelastrum microporum* Nägeli (33 тис. кл/дм³, 0,268 мг/дм³) та інші.

З відновленням гідрохімічного режиму кількість прісноводного планктону значно скоротилася, але на відстані від берега пляма прісної води з прісноводними видами дрейфувала ще деякий час, що було зареєстровано 5 липня 2023 р. на 13-й станції Великого Фонтану при відборі проб з човна (лише один епізодичний відбір).

З 12 липня 2023 р. після штормів з потужним перемішуванням води та південного вітру альгофлора змінилася на звичайну морську і в подальшому спостерігалось значне біорізноманіття переважно видів морського генезису. Зростання біомаси фітопланктону 20 липня (3,415 мг/дм³, 34 види) було зумовлено розвитком водоростей з великими за розміром клітинами, а саме: *Tripos furca* (Ehrenberg) Gómez, *T. muelleri* Bory, *T. fusus* (Ehrenberg) Gómez, потенційно токсичних *Dinophysis fortii* Pavillard, *Phalacroma rotundatum* (Claparède & Lachmann) Kofoed & Michener і *L. polyedra* та діатомових *Chaetoceros curvisetus* Cleve, *C. pelagica*, *Ditylum brightwellii* (West) Grunow, *Pseudosolenia calcar-avis* (Schultze) Sundström та *Proboscia alata* (Brightwell) Sundström. «Цвітіння» води або домінування якогось окремого виду не спостерігалось.

У вересні та листопаді 2023 р. спостерігали розвиток *Ebria tripartita* (Schumann) Lemmermann із класу Ebriophyceae, яка є показником евтрофікації водойми. В середині та наприкінці осені 2023 р. було відмічено незначне підвищення біомаси фітопланктону завдяки розвитку великих діатомових та динофітових водоростей. Середні показники чисельності фітопланктону восени становили 123 тис. кл/дм³, біомаси — 0,305 мг/дм³.

Як було зазначено раніше, 24 січня 2024 р. спостерігався розвиток великої діатомової водорості *D. brightwellii* (1,244 мг/дм³, 92 % загальної

біомаси; 31 січня — 1,040 мг/дм³, 60 % загальної біомаси) та кількох видів роду *Chaetoceros* Ehrenberg. У лютому 2024 р. частка діатомових водоростей збільшилася в рази і становила 61 % загальної біомаси. Домінувала *S. costatum* (1704 тис. кл/дм³, 0,590 мг/дм³). У середині лютого було багато особин *C. curvisetus*, *C. socialis* Lauder та *Melosira moniliformis* Agardh. Зустрічались також і динофітові водорості, зокрема у незначній кількості відмічено *C. lomnickii*. При цьому у пробах постійно були присутні види родів *Protoperidinium* Bergh та *Криптоперидиніум* Lindemann, а також криптофітові водорості.

У березні 2024 р. чисельність фітопланктону коливалася від 626 тис. кл/дм³ до 112 тис. кл/дм³, в середньому — 293 тис. кл/дм³, а біомаса — від 1,082 до 0,157 мг/дм³, у середньому — 0,488 мг/дм³. У квітні спостерігалось підвищення чисельності дрібноклітинної зеленої водорості *M. contortum* до 1412 тис. кл/дм³ за солоності 8,17‰ та температури води 15,2°C, але, в середньому за місяць, це не вплинуло на загальну біомасу фітопланктону — 0,337 мг/дм³. Загалом було ідентифіковано 14 видів, з них 5 діатомових, 3 динофітових, 3 зелених водоростей та 3 ціанобактерій. В середині місяця (17 квітня) спостерігався апвелінг, коли за солоності води у 17,04‰ (на 43 % більше, ніж тижнем раніше) та температури 8,5°C (на 6,5°C менше) у пробі фіксувалося всього п'ять видів діатомових водоростей (при загальній чисельності 41 тис. кл/дм³ та біомасі 0,088 мг/дм³). Натомість 25 квітня, на фоні східного вітру, зниження солоності та підвищення температури, загальна кількість фітопланктону значно зросла (біомаса становила 0,543 мг/дм³). Було ідентифіковано 18 видів водоростей, з яких 7 діатомових, 2 динофітових, 3 ціанобактерії та 6 видів зелених. У травні кількісні показники фітопланктону склали в середньому за місяць 803 тис. кл/дм³ та 0,454 мг/дм³.

Всього протягом холодної пори 2024 р. було ідентифіковано понад 20 видів динофітових водоростей, що є максимальним за весь період дослідження фітопланктону Одеської затоки. Ця тенденція збереглася і у 2025 р. і характеризує затоку як високоевтрофну.

У червні 2024 р. кількісні показники фітопланктону в середньому за місяць склали 271 тис. кл/дм³ та 0,521 мг/дм³ (див. рис. 1, 2). На початку місяця (як і наприкінці травня) спостерігалась низька солоність (8,31 ‰) та найбільша за червень біомаса фітопланктону — 0,983 мг/дм³. У пробі було знайдено 27 видів водоростей, з яких 11 — прісноводні (зелені та ціанобактерії), а решта — морські (12 видів діатомових та 4 види динофітових водоростей). З середини червня солоність води поступово підвищилась до 13,2 ‰ і співвідношення відділів водоростей почало змінюватися. Наприкінці місяця було знайдено тільки два види зелених прісноводних водоростей, тоді як ціанобактерій не було взагалі (чого не спостерігалось до руйнування греблі Каховської ГЕС). Серед морських водоростей значно зросла частка динофітових водоростей — до 9 видів (39 % усіх видів у пробі) — та зрівнялась по кількості з діатомовими водоростями. Але загальна біомаса в кінці місяця була невелика — 0,293 мг/дм³ за чисельності 104 тис. кл/дм³ та при дуже прозорій воді. Слід

зазначити, що до катастрофи на Каховській ГЕС частка дінофітових водоростей біля берегів м. Одеси майже ніколи не перевищував 20 % загальної чисельності, за винятком періоду «цвітіння» води (згідно оригінальних даних).

У липні 2024 р. діатомові водорості склали 28 % загальної чисельності і 47,3 % біомаси, дінофітові — відповідно 5,3 та 46,7 %. Солоність води у липні коливалася біля 15,5 ‰. 3 липня у пробі морської води знайдено 32 вида, 12 із яких належали до дінофітових — 45 тис. кл/дм³ (8,2 % загальної чисельності, 0,485 мг/дм³ (61,4 % загальної біомаси) та вперше цього літа з'являється *L. polyedra*. До діатомових водоростей відносилися 15 видів (106 тис. кл/дм³, або 43,2 % і 0,297 мг/дм³, або 37,6 %). Загалом чисельність складала 245 тис. кл/дм³, а біомаса 0,790 мг/дм³. Діатомові водорості 10 липня склали 41 тис. кл/дм³ (31,8 %) та 0,087 мг/дм³ (22,2 %), дінофітові — 17 тис. кл/дм³ (13,3 %) та 0,203 мг/дм³ (52,4 %). Загалом чисельність складала 129 тис. кл/дм³, а біомаса — 0,387 мг/дм³. 24 липня дінофітові склали 5,1 % загальної чисельності клітин та 5,7 % біомаси, а діатомові — відповідно 27 та 83,5 %. 31 липня дінофітові водорості склали 6,3 % чисельності та 10 % біомаси, а діатомові — 48 та 82 %. Загалом чисельність фітопланктону становила 48 тис. кл/дм³, а біомаса — 0,251 мг/дм³.

У серпні 2024 р. кількісні показники фітопланктону були приблизно на тому самому рівні, що і в минулі роки, та в середньому склали 65 тис. кл/дм³ та 0,426 мг/дм³. Так, 8 серпня було відмічено найвищу за місяць солоність води — 18,08 ‰, при цьому прісноводних видів не спостерігалось. Домінували великоклітинні діатомові водорості *P. calcar-avis* (40 % загальної біомаси) та *P. alata* (17,6 %), які не є кормовим планктоном через великі розміри і які в цьому році розмножилися у дещо більшій кількості, ніж у минулі роки. 21 серпня був відмічений *P. calcar-avis* (49 % загальної біомаси). З 14 серпня солоність води знизилася та до кінця місяця становила 15—16 ‰ і в цей період з'являлися прісноводні види, зокрема ціанобактерії, які є звичними для морської води біля м. Одеси, але в цьому році вони були в значно меншій кількості, ніж у попередні роки. Весь серпень у пробах води спостерігалася токсична дінофітова водорість *L. polyedra*. Біомаса її поступово збільшувалась і 28 серпня досягла величини 0,071 мг/дм³ (43,5 % загальної біомаси).

У вересні 2024 р. солоність води була в межах 12,6—15,2 ‰, що викликало 4 вересня на ММФ підвищення біомаси *L. polyedra* до 0,650 мг/дм³. Також було багато прісноводних ціанобактерій, які не досягали показників «цвітіння» води. 11 вересня на ММФ було ідентифіковано сім видів діатомових та шість видів дінофітових водоростей у помірній кількості та достатньо багато ціанобактерій роду *Microcystis* Lemmermann, але «цвітіння» води не спостерігалось. Натомість у напівзамкнутій акваторії ЧЯК було зафіксовано «цвітіння» води внаслідок масового розвитку дінофітових водоростей. Біомаса *L. polyedra* досягла при цьому 1,060 мг/дм³. Всього у пробі було ідентифіковано вісім видів дінофітових, які в сумі склали 96,2 % біомаси, що досягла 3,553 мг/дм³. Також у пробі було до-

силь багато видів роду *Protoberidinium* Bergh, ціанобактерій, представників джгутикових зелених (*Pyramimonas* Schmarada, *Tetraselmis* Stein) та криптофітових водоростей (*Teleaulax acuta* (Butcher) Hill).

У 2020 р. біля берегів м. Одеси спостерігався перший у ХХІ ст. «червоний приплив», викликаний розвитком *L. polyedra* [15]. Невід'ємною частиною «червоних припливів», викликаних *L. polyedra*, є рід *Protoberidinium*. Основними представниками цього роду у 2020 р. були *Protoberidinium divergens* (Ehrenberg) Balech та *Protoberidinium steinii* (Jørgensen) Balech. У 2020 р. «червоний приплив» також був довготривалим, плями темно-буруштинного кольору розповсюдилися на всю ПЗЧМ, але видова компонента 2024 р. була набагато складнішою, ніж у 2020 р.

На початку жовтня 2024 р. у морі також спостерігались плями «цвітіння» води через масовий розвиток *L. polyedra*. 3 жовтня на ММФ було зафіксовано «цвітіння» води внаслідок розвитку динофітових водоростей у супроводі ціанобактерій. Загальна чисельність фітопланктону складала 419 тис. кл/дм³, а біомаса — 9,145 мг/дм³. При цьому 80 % загальної біомаси та 52,5 % загальної чисельності складав *L. polyedra* (220 тис. кл/дм³, 7,362 мг/дм³). Вдень 3 жовтня була відібрана ще одна проба на тому самому місці (не в плямі «цвітіння»), але чисельність та біомаса *L. polyedra* дорівнювали лише 6 тис. кл/дм³ та 0,185 мг/дм³ відповідно. Локальні рожеві плями «цвітіння» води спостерігалися на деякій відстані від берега ще кілька днів. У пробі води, яка була відібрана 17 жовтня після штормів, ще при досить помітному хвилюванні у 3 бали, чисельність та біомаса *L. polyedra* склали відповідно 2 тис. кл/дм³ та 0,072 мг/дм³. 23 жовтня, при підвищенні солоності води на ММФ, ідентифіковано 31 вид, з них — 12 динофітових водоростей. Загальна чисельність складала 51 тис. кл/дм³, біомаса — 0,823 мг/дм³. Чисельність та біомаса *L. polyedra* склали 12 тис. кл/дм³ та 0,405 мг/дм³, при цьому вода була прозорою. Натомість у напівзамкненій акваторії ЧЯК 23 жовтня було зафіксовано «цвітіння» води внаслідок розвитку динофітових водоростей. Загальна біомаса при цьому досягала 4,689 мг/дм³ при загальній чисельності 244 тис. кл/дм³. Домінував *L. polyedra* з чисельністю 98 тис. кл/дм³ (39,9 % чисельності) та біомасою 3,268 мг/дм³ (69,7 % загальної біомаси). Вперше за період дослідження фітопланктону Одеської затоки зафіксовано «цвітіння» води через масовий розвиток токсичної динофітової водорості *Gonyaulax spinifera* (Claparède & Lachmann) Diesing (чисельність — 91 тис. кл/дм³, біомаса — 1,090 мг/дм³).

Найбільші кількісні показники *L. polyedra* в Одеській затоці були отримані 24 вересня 2024 р. під час епізодичного відбору проб на 16-й станції Великого Фонтану. У плямі «червоного припливу» чисельність *L. polyedra* була максимальною і складала 11 530 тис. кл/дм³, біомаса — 38,629 мг/дм³. Це явище було викликане масовим розвитком *L. polyedra* і *Heterocapsa* sp. при температурі води 21 °С та солоності 15,19 ‰. Протягом усього вегетаційного періоду розвитку *L. polyedra* та за домінування комплексу видів динофітових водоростей в Одеській затоці спостерігали сильну флуоресценцію моря у нічний період.

31 жовтня після ще кількох штормів та при подальшому підвищенні солоності морської води на ММФ було ідентифіковано 25 видів водоростей. Кількість видів дінофітових водоростей знизилась до чотирьох, а кількість діатомових зросла до 17 видів (серед них чотири види роду *Chaetoceros*). Загальна чисельність водоростей складала 52 тис. кл/дм³, а біомаса — 0,313 мг/дм³. *L. polyedra* не був помічений взагалі. Вода була дуже прозора та відбулася зміна сезонів у морі. Окремо слід відмітити періодичну присутність у пробах токсичних діатомових водоростей — представників роду *Pseudo-nitzschia* Peragallo, які спостерігались впродовж всього року у помірній кількості.

6 листопада 2024 р. на ММФ, у досить прозорій воді, було ідентифіковано 33 види водоростей загальною біомасою 0,256 мг/дм³ та чисельністю 115 тис. кл/дм³. Частка морських діатомових водоростей становила 63 % загальної кількості видів (70,6 % загальної біомаси), а частка дінофітових водоростей — 18 % (3,2 % загальної чисельності та 23 % загальної біомаси). Частка прісноводних ціанобактерій становила лише 6 % загальної кількості видів. 14 листопада при зниженні солоності води було знайдено 16 видів, чотири з яких належали до прісноводних ціанобактерій та три види — до прісноводних зелених водоростей. Загальна чисельність водоростей складала 160 тис. кл/дм³, а біомаса — 0,170 мг/дм³. Вода хоч і залишалася досить прозорою, однак набула зеленуватого відтінку. 27 листопада було ідентифіковано 16 видів, зокрема три види ціанобактерій та чотири види зелених водоростей. Загальна біомаса фітопланктону складала 0,360 мг/дм³, а чисельність — 284 тис. кл/дм³. Загалом вода залишилася трохи зеленою.

6 грудня 2024 р. на ММФ було ідентифіковано 12 видів водоростей, загальна біомаса яких складала 0,045 мг/дм³, а чисельність — 178 тис. кл/дм³. Це був найнижчий показник біомаси цього року. 51 % видів належали до прісноводних зелених водоростей та ціанобактерій, які склали 68 % загальної чисельності. 10 грудня було ідентифіковано 10 видів водоростей (загальна біомаса складала 0,125 мг/дм³, а загальна чисельність — 71 тис. кл/дм³. Прісноводними були 20 % видів. 18 грудня у пробах води, відібраних біля ММФ, було ідентифіковано 13 видів водоростей (загальна біомаса складала 0,216 мг/дм³, загальна чисельність — 30 тис. кл/дм³). При цьому був наявний лише один прісноводний вид. Решту видів склали звичайні для пізньої осені та початку зими морські види, переважна частина яких (84,6 %) належала до діатомових водоростей. У напівзамкненій акваторії ЧЯК 18 грудня теж було ідентифіковано 13 видів водоростей, але їхня біомаса була нижчою — 0,131 мг/дм³, а чисельність дорівнювала 13 тис. кл/дм³. Досить висока біомаса при низькій чисельності була зумовлена присутністю у пробі характерної для осінньо-зимового сезону великоклітинної діатомової *D. brightwellii*.

Індекс видового різноманіття Шеннона у 2022—2024 рр. Максимальне значення індексу Шеннона протягом зазначеного періоду досліджень отримано у жовтні 2023 р. (3,58 біт/екз.), а мінімальне — у вересні 2024 р. (1,10 біт/екз.). (рис. 3).

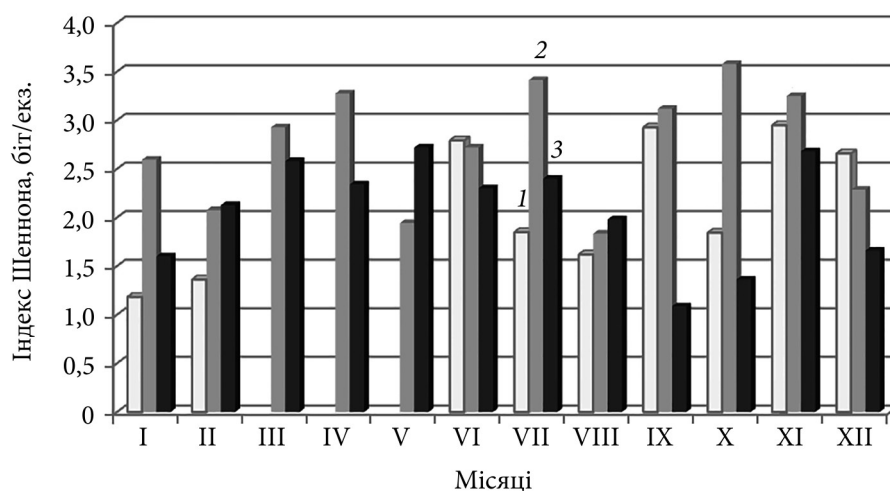


Рис. 3. Середньомісячні значення індексу видового різноманіття фітопланктону ПЗЧМ біля м. Одеси в різні роки

Мінімальні значення індексу видового різноманіття зареєстровані у періоди «цвітіння» води, коли один або два види, наприклад *L. polyedra* чи *Protoperidinium* sp., формували понад 70—80 % біомаси. Максимальні значення індексу Шеннона спостерігалися у періоди рівномірного розвитку різних таксонів — зазвичай весною або на початку осені, коли жоден вид не мав вираженого домінування.

Висновки

Після руйнування греблі Каховської ГЕС в червні 2023 р. відбулась структурна перебудова видового складу фітопланктону з масовою появою прісноводних таксонів. Надходження великого обсягу прісної води, збагаченої біогенними речовинами, зниження солоності і підвищення температури сприяли масовому розвитку токсичних та потенційно токсичних видів дінофітових водоростей і ціанобактерій, а також діатомей.

У червні 2023 р. зафіксовано екстремальні «зелені припливи» з комплексом токсичних ціанобактерій *Aphanizomenon*, *Dolichospermum* і *Microcystis* та інших таксонів внаслідок надходження великого обсягу прісної води, збагаченої біогенними речовинами.

Відбулося різке збільшення кількості великоклітинного діатомового планктону, зокрема представників родів *Cerataulina*, *Chaetoceros*, *Coscinodiscus*, *Diatoma*, *Ditylum*, *Proboscia*, *Pseudosolenia* і *Thalassiosira*, а також *Pseudo-nitzschia* — продуцента токсичної речовини — домоевої кислоти. Спостерігалось різке збільшення комплексу зелених водоростей родів *Ankistrodesmus*, *Desmodesmus*, *Scenedesmus* і *Tetradesmus* та поява нового збудника «цвітіння» води серед зелених — *M. contortum*. Зустрічалися також збудники «цвітіння» води минулих років такі як *P. cordatum*, *K. triquetrum* і *S. costatum* зі значною вегетацією протягом року.

Відмічено подовження вегетаційного періоду токсичної водорості *L. polyedra* і «червоні припливи», викликані нею, а також ускладнення структури «червоних припливів» через появу нових компонентів — *Protoperdinium*, *Heterocapsa*, *Gonyaulax*.

Середньорічна чисельність фітопланктону становила: у 2022 р. — 83 тис. кл/дм³, у 2023 р. — 904 тис. кл/дм³, а у 2024 — 369 тис. кл/дм³. Отже, після катастрофи чисельність планктонних водоростей збільшилася в 11 разів, а до кінця 2024 р. знизилася у 2,5 раза.

Індекс Шеннона коливався від 1,10 (дуже низьке біорізноманіття, вересень 2024 р.) до 3,58 (максимально можливе значення для Одеської затоки, жовтень 2023 р.). Такі коливання індексу свідчать про нестабільність екосистеми у 2023—2024 рр., пов'язану з опрісненням води після руйнування греблі Каховської ГЕС, надходженням біогенних речовин, масовим «цвітінням» опортуністичних та токсичних видів і швидкою перебудовою структури угруповань планктонних водоростей.

Проведені дослідження свідчать про часткове відновлення морської екосистеми у 2024 р., але зі зсувом домінування в бік опортуністичних і токсичних видів, що може вказувати на зростання трофності моря. Загалом, у 2023—2024 рр. можна виділити новий етап розвитку угруповань планктонних водоростей із підвищеною мінливістю таксономічного складу, збільшенням частоти та інтенсивності «цвітіння» води і «червоних припливів», а також активною участю динофітових водоростей у формуванні біомаси протягом усього року.

Список використаної літератури

1. Мінічева Г.Г., Бондаренко О.С., Богатова Ю.І. та ін. Реакція морської екосистеми на наслідки руйнування греблі Каховського водосховища. *Мор. екол. журн.* 2023. № 1—2. С. 52—68. doi 10.47143/1684-1557/2023.1-2.6
2. Сорокин Ю.И. К методике концентрирования фитопланктона. *Гидробиол. журн.* 1979. Т. 15, № 2. С. 71—76.
3. Теренько Г.В. Нові діатомові роду *Chaetoceros* Ehrenberg в українській частині Чорного моря : матеріали XIV з'їзду українського ботанічного товариства (м. Київ, 25—26 квіт. 2017 р.). Київ, 2017. С. 113.
4. Теренько Л.М., Теренько Г.В. Видове різноманіття планктонного фітоценоза Одеського залив Чорного моря. *Екологія моря*. 2000. Вып. 52. С. 56—59.
5. Теренько Л.М., Теренько Г.В. Многолетняя динамика «цветений» микроводорослей в прибрежной зоне Одесского залива (Чёрное море). *Мор. екол. журн.* 2008. Т. VII, № 2. С. 76—86.
6. Тучковенко Ю., Степаненко С. Вплив руйнування греблі Каховської ГЕС на екологічний стан Одеського району Чорного моря. *Проблеми водопостачання, водовідведення та гідраліки*. 2023. Вып. 44. С. 71—80. doi: 10.32347/2524-0021.2023.44.71-80
7. Федоров В.Д. О методах изучения фитопланктона и его активности. Москва: Наука, 1979. 166 с.
8. Fritz L., Triemer R. E. A rapid simple technique utilizing Calcofluor White M2R for the visualization of dinoflagellate thecal plates. *J. Phycol.* 1985. Vol. 21. P. 662—664.
9. Guiry M.D., Guiry G.M. AlgaeBase. World-wide electronic publication, University of Galway. 2025. Available at: <https://www.algaebase.org>. Accessed on: 2025-08-20.
10. Head M.J., Mertens K.N., Fensome R.A. Dual nomenclature in organic-walled dinoflagellate cysts I: concepts, methods and applications. *Palynology*. 2024. Vol. 48, N 5. P. 1—99. <https://doi.org/10.1080/01916122.2023.2290200>

11. Krakhmalnyi A.F., Terenko G.V. *Chimonodinium lomnickii* (Wolosz.) Craveiro et al. (Dinoflagellata) — agent of winter water «bloom» in the Odesa Bay (the Black Sea). *Hydrobiol. J.* 2019. T. 55, N 4. P. 55—62.
12. Krakhmalnyi A., Terenko G., Krakhmalnyi M., Sokolovska O. Harmful Dinoflagellates in Odesa Bay (Black Sea). *Harmful algae news.* 2024. N 77. P. 11—12. <https://archimer.ifremer.fr/doc/00927/103927/115859.pdf>
13. Krakhmalnyi A.F., Tishaeva M.V., Panina Z.A., Krakhmalnyi M.A. A problem on identity of *Prorocentrum cordatum* (Ostenf.) Dodge (Dinophyta). *Algologia.* 2004. Vol. 14, N 4. P. 428—437.
14. Shannon C.E., Weaver W. The mathematical theory of communication. Univ. Illinois Press-Urbana. 1949. 117 p.
15. Terenko G.V., Krakhmalnyi A.F. Red tide of *Lingulodinium polyedrum* (Dinophyceae) in Odesa Bay (Black Sea). *Turkish J. Fish. Aquat. Sci.* 2022. Vol. 22, N 4. 6 p. <https://doi.org/10.4194/TRJFAS20312>

Надійшла 1.09.2025

G.V. Terenko, PhD (Biol.), Senior Researcher,
Ukrainian Scientific Center of Ecology of the Sea (UkrSCES),
Odesa 65009, Ukraine,
French Research Institute for the Exploitation of the Sea
Ifremer, COAST, F-29900 Concarneau, France
e-mail: terenkogalina@gmail.com
ORCID 0000-0002-5109-337X
O.V. Sokolovska, Researcher,
Ukrainian Scientific Center of Ecology of the Sea (UkrSCES),
Odesa 65009, Ukraine,
e-mail: olenasokolovska74@gmail.com
ORCID 0009-0006-7607-3670
A.F. Krakhmalnyi, PhD (Biol.), Senior Researcher,
Institute for Evolutionary Ecology of NAS of Ukraine,
37 Acad. Lebedev Str., Kiev 03143, Ukraine,
e-mail: alexkrakhmalnyi@gmail.com
ORCID 0000-0003-2068-8669

PHYTOPLANKTON OF THE NORTHWESTERN PART OF THE BLACK SEA IN THE ODESA REGION UNDER CONDITIONS OF A TECHNOGENIC DISASTER

In 2023, the northwestern part of the Black Sea underwent significant ecological changes due to the destruction of the dam of the Kakhovka Hydroelectric Power Plant. The large volume of fresh water with nutrients and the increase in water temperature were responsible for the intensive development of Cyanobacteria and green algae, water bloom in summer, and red tides due to the intensive development of Dinophyta in autumn. Representatives of Bacillariophyta, Dinophyta, Chlorophyta, and Cyanobacteria prevailed. However, their ratio changed significantly under the influence of stress factors. The average monthly phytoplankton numbers in 2023 ranged from 84 thousand cells/L to 4306 thousand cells/L, its biomass – from 0,073 to 3,778 mg/L, and the Shannon diversity index varied in 2023–2024 from 1.10 to 3.58 bits/ind. indicating structural instability of communities in response to extreme hydrological changes. Despite the increasing level of eutrophication and surges in algal numbers and biomass, bioindicators demonstrate signs of phytoplankton adaptation to new conditions and gradual stabilization of the ecosystem. The obtained results indicate the high sensitivity of phytoplankton to hydrological disturbances and emphasize its importance as an indicator group for monitoring aquatic ecosystems under conditions of the technogenic disaster.

Keywords: *phytoplankton, the Black Sea, ecological status, the Kakhovka Hydroelectric Power Plant, technogenic disaster.*