



## ПІДХОДИ ДО ВИБОРУ СТАНЦІЙ МОНІТОРИНГУ ФІТОПЛАНКТОНУ НА ПРИКЛАДІ МИСУ ПІВНІЧНИЙ ОДЕСЬКИЙ

**Зотов А.Б.** – к.б.н. с.н.с.

ДУ «Інститут морської біології НАН України»  
ДУ «Національний Антарктичний науковий центр»

**Соколов Є.В.** – к.б.н. с.н.с.

ДУ «Інститут морської біології НАН України»

**Богатова Ю.І.** – к.геог.н. с.н.с.

ДУ «Інститут морської біології НАН України»

**Павловська М.О.** – н.с.

ДУ «Національний Антарктичний науковий центр»

**Джулай А.О.** – н.с.

ДУ «Національний Антарктичний науковий центр»

Вибір станцій моніторингу є однією з важливих методологічних задач, яка має бути вирішена в процесі планування довгострокових екологічних досліджень. Це визначає необхідність пошуку підходів, що дозволяють досягнути відповідності критеріям Морської Стратегії ЄС при виборі станцій прибережного моніторингу фітопланктону. Одним з них є використання результатів інтерпретації супутникових даних. Вони можуть бути дієвим інструментом при аналізі гетерогенності розподілу водних мас в районі, де планується прибережний моніторинг і дозволяють визначити акваторію, на яку можна розповсюджувати його результати. Наступним етапом є комплексні дослідження, на основі яких аналізується гетерогенність розподілу фітопланктону локальної прибережної акваторії і виявляються фактори, що визначають ці відмінності. За результатами цього аналізу визначається оптимальна локалізація і кількість станцій моніторингу. Ці підходи розглядаються на прикладі досліджень локальної прибережної чорноморської акваторії. Аналіз розподілу фітопланктону на 6 станціях в районі мису Північний Одеський виявив значні відмінності у вертикальному та горизонтальному розподілі фітопланктону. Дослідження гідрологічних (поверхнева температура, каламутність та напрям течій) та гідрохімічних показників дозволили пояснити ці відмінності як наслідок впливу конкретних факторів. Головними з них були різний характер водообміну та відмінності вмісту органічних та мінеральних форм біогенних речовин на станціях. Це призводило до різного типу розподілу біомаси на станціях і навіть значних відмінностей таксономічної структури угруповань фітопланктону в межах локальної акваторії. Проведені дослідження дозволили визначати локації, де вплив природних особливостей берегів, штучних прибережних споруд та джерел прибережної евтрофікації є мінімальним. Це дає можливість використовувати їх в якості станцій постійного моніторингу у відповідності до стандартів Морської Стратегії ЄС.

**Ключові слова:** моніторинг, фітопланктон, дані супутника, Чорне море.

### Вступ

Однією з важливих методологічних задач, що має бути вирішена в процесі планування довгострокових гідробіологічних досліджень, є розробка схеми станцій відбору проб. Результати, що на них отримані, мають відображати процеси, які відбуваються в певній акваторії. При цьому задача оптимізації трудовитрат має зумовлювати зменшення кількості матеріалу, що відбирається, а задача врахування всієї різноманітності умов певної акваторії, навпаки, потребує збільшення об'єму цього мате-

ріалу. Досягнення компромісу між цими протилежними задачами є необхідним при плануванні досліджень, пов'язаних з довгостроковим моніторингом угруповань фітопланктону прибережної зони, розподіл якого у водному середовищі безпосередньо залежить від мінливості та гетерогенності умов. Імплементация стандартів Водної Рамкової Директиви (WFD, Directive 2000/60/EC) і Морської Стратегії ЄС (MSFD, Directive 2008/56/EC) в національні дослідження, що вимагає оптимізації підходів до моніторингу фітопланктону, робить це завдання

особливо актуальним. Наявність довгострокових станцій моніторингу є перевагою для задач як WFD, так і MSFD. За стандартами ЄС вибір місця відбору проб має залежати від водообміну, глибини, стійкості водних мас, близькості до наземних точкових джерел забруднення. В прибережній зоні місце вибірки має враховувати джерела прісної води або річкового стоку, щоб забезпечити всі види визначених WFD і MSFD водойм та пелагічних середовищ (перехідні, прибережні, шельфові та відкриті морські ділянки). Для відображення чорноморської океанографічної специфіки рекомендуються шельфові трансекти, а також станції в розташуванні конкретних гідродинамічних особливостей (вихорів). Для відбору проб не рекомендуються такі об'єкти як мости, пристані та приливні ділянки (Moncheva & Parr, 2005).

У зв'язку з цим вибір станції постійного моніторингу має проводитись на основі комплексних досліджень. На першому етапі може бути проаналізована специфіка умов в акваторії. На основі цього аналізу визначається локальна акваторія, яка може репрезентувати певний район досліджень. Подальші етапи досліджень мають виявити в цій локальній акваторії взаємозв'язки між гетерогенністю показників угруповань фітопланктону і факторів середовища. Ці дослідження дозволяють виявити локації, що найбільшою мірою відповідають розподілу фітопланктону в районі досліджень, і локації, де спостерігається суттєве відхилення від цього розподілу. На основі цих даних можуть прийматися рішення щодо локалізації моніторингових станцій та оптимізації кількості проб.

Для аналізу специфіки умов в акваторії при виборі станцій постійного моніторингу традиційно застосовується аналіз всього комплексу гідрологічних, гідрохімічних, біологічних даних, накопичених для певної акваторії. Розвиток сучасних технологій відкриває для цього нові можливості, пов'язані з інтерпретацією дистанційних даних супутникового спостереження. Вони дозволяють на новому рівні і з застосуванням великих масивів даних проаналізувати різноманітність умов в районі, де плануються дослідження. Остаточне рішення щодо локалізації станцій може прийматись на основі польових досліджень розподілу показників угруповань фітопланктону і комплексу факторів, що впливають на цей розподіл. Підхід, що пропонується, демонструється в цій статті на прикладі локальної прибережної чорноморської акваторії.

Мета цієї роботи – запропонувати методологічні підходи до вибору станцій постійного моніторингу фітопланктону та протестувати їх на прикладі прибережної акваторії (мис Північний Одеський, північно-західна частина Чорного моря).

Для досягнення цієї мети були поставлені такі завдання: в результаті опрацювання та інтерпретації

дистанційних даних супутникового спостереження виявити в районі досліджень акваторії, що характеризуються гетерогенністю гідрологічних показників; на основі аналізу цих даних вибрати локальну акваторію, що найбільшою мірою відповідає цілям та завданням моніторингу; на основі комплексного дослідження локальної акваторії виявити фактори, що визначають гетерогенність розподілу показників угруповань фітопланктону; визначити локації, де вплив цих факторів є мінімальним в зв'язку з чим вони найбільшою мірою відповідають умовам всього району дослідження; прийняти рішення по оптимізації кількості проб, що дозволить нівелювати фактор локальної мозаїчності розподілу фітопланктону.

#### Матеріал та методи досліджень

Особливості гідродинаміки району мису Північний Одеський визначались за допомогою дистанційних методів на основі даних супутників Landsat8 та Sentinel2. Картографічні виміри, аналіз супутникових зображень та просторове моделювання виконувалось в ГІС програмах ArcGis v.10.0 та QGIS v.2.18. Поверхнева температура, яка розраховувалась на основі Landsat8, наданих геологічною службою США (glovis.usgs.gov). Поверхнева, так звана яскрависта температура розраховувалась за термальним каналом супутника Landsat8 в діапазоні довжин хвиль далекого інфрачервоного випромінювання, в ГІС програмі QGIS. Для перерахунку спектральної яскравості далекого інфрачервоного випромінювання в одиниці температури використовувалися необхідні значення розрахункових коефіцієнтів відповідно до методики розрахунку (Using the USGS Landsat 8 Product) з файлу метаданих, який додається до супутникових знімків. Оцінка каламутності знаходилася як функція кількості відбитого або поглиненого випромінювання (Вельтищев і Семенченко 2005). Аналізувалась довжина хвиль в діапазоні 550-760 нм (перехід від жовтого в бік червоного та ближнього інфрачервоного ділянки спектра), що в максимальній мірі відповідає завданню визначення вмісту у воді зважених часток (Wang and Lu 2010). Для визначення каламутності води використовується нормалізований різницевий індекс каламутності (Normalised Difference Turbidity Index – NDTI) (Вишневецький та Шевчук 2016) розрахований по спектральним каналам супутникової зйомки. Формула розрахунку:  $NDTI = (\lambda_{\text{чер.}} - \lambda_{\text{зел.}}) / (\lambda_{\text{чер.}} + \lambda_{\text{зел.}})$ , де  $\lambda_{\text{чер.}}$  і  $\lambda_{\text{зел.}}$  яскравість випромінювання водного об'єкта в зеленій та червоній частині довжини хвиль. Для супутникових знімків Sentinel2 це поєднання спектральних каналів B3 і B2. Напряму руху поверхневих водних мас був розрахований за допомогою плагіна «VectorFieldCalc» в програмі QGIS на основі спектральних каналів B4 і B3 в червоній та зеленій частині довжини хвиль.

Комплекс метеорологічних, гідрологічних, гідрохімічних і гідробіологічних робіт виконувався на 6 станціях у вересні 2018 р. (рис. 1). Для демонстрації можливостей виявлення залежностей між гетерогенністю умов середовища та розподілу фітопланктону аналізувались станції, де ця гетерогенність могла проявитися найбільш показово. Для уникнення впливу гідротехнічних споруд, проби води і донних відкладень для визначення гідролого-гідрохімічних параметрів та якісних і кількісних показників фітопланктону відбиралися водозаємом у поверхневому і придонному шарах. Метеорологічні спостереження виконувалися на всіх станціях. Швидкість вітру вимірювалася індукційним анемометром API-49, напрям визначався по судновому компасу. Вимір швидкості та напряму течій поверхневого і придонного шарів води відбувався за допомогою морської гідрологічної вертушки з використанням тарирувальної таблиці.

Гідрохімічні дослідження проводили у поверхневому і придонному шарах та в донних відкладеннях акваторії. Визначали наступні гідрохімічні параметри водного середовища: солоність, завислі речовини (ЗР), розчинений кисень ( $\text{мг} \cdot \text{дм}^{-3}$  і % насичення), біологічне споживання кисню за 5 діб ( $\text{БСК}_5$ ), концентрації розчиненого кремнію (Si), розчинених мінеральних форм азоту – амонійного ( $\text{NH}_4^+$ ), нітритного ( $\text{NO}_2^-$ ), нітратного ( $\text{NO}_3^-$ ) і фосфору фосфатів ( $\text{PO}_4^{3-}$ ), загального азоту ( $\text{N}_{\text{ЗАГ}}$ ) і фосфору ( $\text{P}_{\text{ЗАГ}}$ ). Концентрації органічного азоту і фосфору обчислювалися за різницею між загальним вмістом і концентрацією мінеральних форм.

Визначення гідрохімічних параметрів проводилося за стандартними, прийнятими в міжнародній практиці, методами (Методи ..., 1978; Руководство ..., 1993; Международные ..., 1969; Таблицы ..., 1976) з використанням повіреного вимірювального обладнання.

Проби фітопланктону відбирали в поверхневому (0.5 м) та придонному шарі води, фіксували розчином Утермеля і згущували осадовим методом до об'єму 50 мл. Ідентифікацію фітопланктону, його підрахунок (в двох повторах) і вимір морфометричних параметрів здійснювали в краплі об'ємом 0.05 мл при збільшенні  $40 \times 10$  і  $40 \times 7$  (Utermohl 1958). Об'єм одноклітинних водоростей розраховували згідно з уніфікованою до стандартів моніторингу ЄС методикою розрахунку об'єму клітин мікроводоростей (Зотов 2018). Значення чисельності (N) та біомаси (B) розраховували згідно «Методических рекомендаций по определению комплекса морфо-функциональных показателей одноклеточных и многоклеточных форм водной растительности» (2003).

#### Результати та обговорення

**Результати аналізу супутникових даних для району мису Північний Одеський.** Однією з найбільш доступних характеристик, що дозволяють оцінити просторовий розподіл водних мас одночасно, є поверхнева температура. За даними дальнього інфрачервоного каналу супутника Landsat8 розподіл поверхневої (яскравистої) температури 29 вересня 2018 року характеризувався переважною рівномірністю значень на відкритій частині акваторії моря та градієнтом значень в прибережній частині (рис. 2).

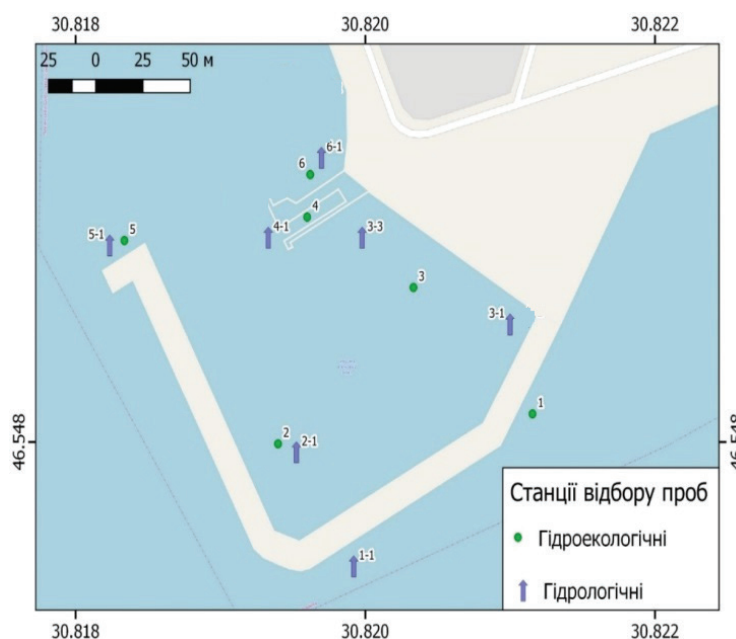


Рис. 1. Схема розташування станцій в районі мису Північний Одеський

Згідно з даними найбільший поверхневий прогрів води за значеннями та розподілом локалізовано від мису Північний Одеський в напрямку Одеської затоки, що вочевидь пов'язано з умовами гідродинаміки і сумарної циркуляції вод. Для оцінки кількісної величини каламутності води був розрахований індекс NDTI (рис. 3).

Найбільша каламутність води за значеннями індексу NDTI локалізована у напрямку від мису Північний Одеський до Одеської затоки, що вочевидь пов'язано з умовами гідродинаміки і сумарної циркуляції вод. Акваторія штучної бухти характеризувалася незначною каламутністю. Напрямок руху поверхневих водних мас представлений на рисунку 4.

Аналіз супутникових даних дозволяє зробити висновок, що гідродинамічна ситуація на траверсі мису Північний Одеський в період відбору проб відображала стан водних мас в прибережних водах на віддаленості до 500 м від берегової смуги в східному напрямку. В західному напрямку в зв'язку з характеристиками вздовжберегових течій створю-

вались умови для гетерогенності водних мас. Значна акваторія за мисом в західному напрямку характеризувалася зростанням поверхневої температури та рівня каламутності. Наведені дослідження демонструють можливість встановлення гетерогенності водних мас безпосередньо в період досліджень. Однак наявність довгострокових баз супутникових даних дозволяє узагальнити закономірності гідродинамічних процесів акваторії, яка досліджується за будь який термін, що дозволяє перейти до аналізу стану локальної акваторії, яка найбільшою мірою відповідає цілям та задачам моніторингу.

**Результати польових досліджень на станціях в районі мису Північний Одеський.** В якості полігону, де може бути продемонстрована локальна гетерогенність умов, що зумовлює відповідну гетерогенність показників фітопланктону, була вибрана акваторія всередині і за межами штучних гідротехнічних споруд в районі мису Північний Одеський. Їх наявність може значно впливати на результати моніторингу фітопланктону прибережних та транзитних вод.

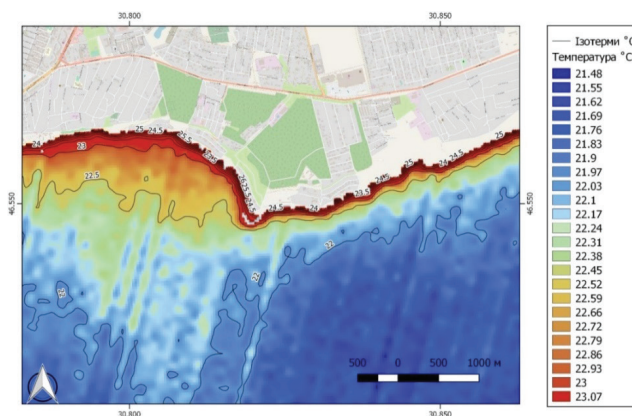


Рис. 2. Розподіл поверхневої (яскравішої) температури за даними дальнього інфрачервоного каналу (супутник Landsat8, 20.09.2018)

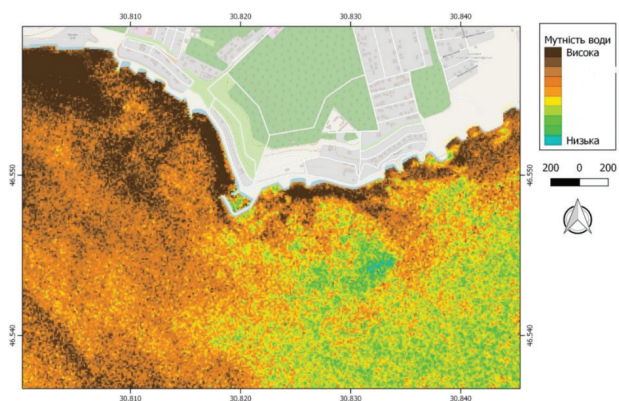


Рис. 3. Розподіл рівня каламутності (супутник Sentinel2, 20.09.2018)

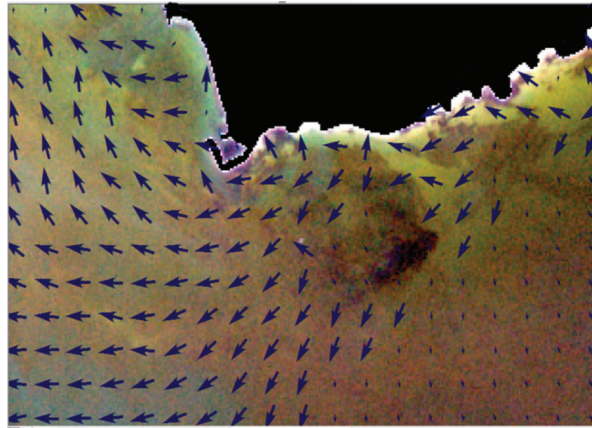


Рис. 4. Напрямок руху поверхневих водних мас (спутник Sentinel2, 20.09.2018)

*Течія та водообмін.* В результаті безпосередніх вимірів було встановлено, що швидкість течій в акваторії штучної бухти характеризується просторовою однорідністю і низькими значеннями в порівнянні з прилеглою морською акваторією навіть при вітровому впливі. Уповільнена гідродинаміка пов'язана з наявністю в акваторії комплексу гідротехнічних конструкцій. При південно-західному слабкому вітрі спостерігалися переважно північно-східні течії швидкістю до  $4.9 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$ , тобто течії були протилежні вітру. Це, очевидно, компенсаційні течії, що ймовірно виникли в результаті вітрового нагону. У більшості випадків напрями придонних і поверхневих течій на окремих станціях співпадали, напрями течій по станціях варіювали від  $58^\circ$  до  $318^\circ$ .

Водообмін в акваторії гідротехнічних конструкцій в поверхневому і придонному горизонтах приблизно однаковий з різницею в  $0.1\text{-}0.2 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$ . У морській частині течії в поверхневому шарі були в два рази більше, ніж в придонному горизонті. Співвідношення між поверхневими і придонними швидкостями проводилися з використанням ГІС методом

інтерполяційного моделювання поверхневих течій онлайн (рис. 5, 6). Це дозволяє оцінити просторову неоднорідність швидкостей течій на досліджуваній акваторії.

*Гідрохімічний режим.* У період зйомки гідрохімічні умови в районі мису характеризувалися значною просторовою мінливістю. На всій дослідженій акваторії кисневі умови були сприятливими. Насичення води киснем в поверхневому шарі за межами бухти і в ній було близьким –  $109.9\%$  и  $107.3\%$  відповідно, а в придонному шарі становило  $102.7\%$  і  $95.1\%$ . Характерною особливістю акваторії штучної бухти був значно вищий, ніж за його межами, вміст  $\text{BCK}_5$ , мінеральних та органічних речовин азоту і фосфору (рис. 7).

Середні значення  $\text{BCK}_5$  в акваторії штучної бухти в порівнянні з фоновими значеннями були вищими в 1.4 у поверхневому і 1.8 разів у придонному шарах,  $N_{\text{МІН}}$  в 2.9 і 2.7 разів,  $P_{\text{МІН}}$  в 2.6 і 5.8 разів,  $P_{\text{ОРГ}}$  в 1.6 і 1.5 разів відповідно. В той же час значення  $\text{BCK}_5$  в поверхневому шарі на ст. 2 становило  $7.62 \text{ mgO}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$ , а в поверхневому и придонному

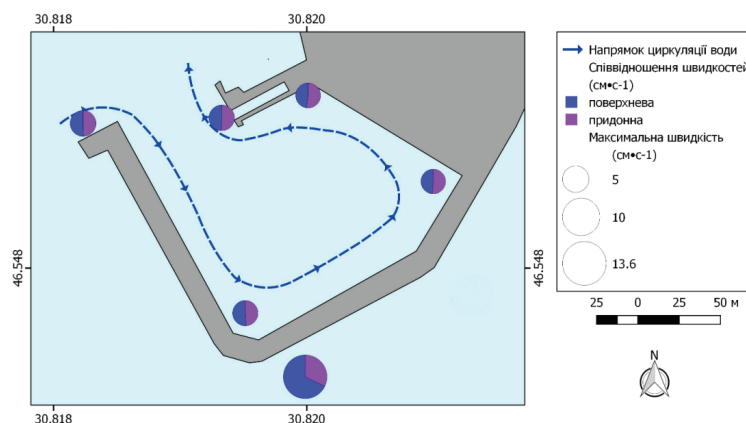


Рис. 5. Співвідношення швидкості поверхневих і придонних течій

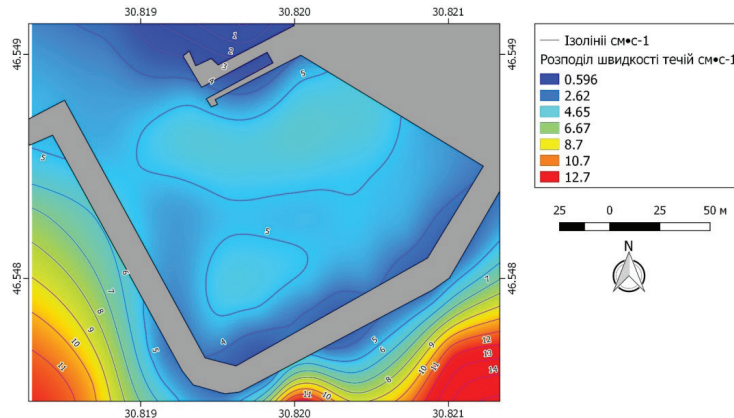


Рис. 6. Розподіл швидкостей течій поверхневого шару на основі інтерполяційного моделювання

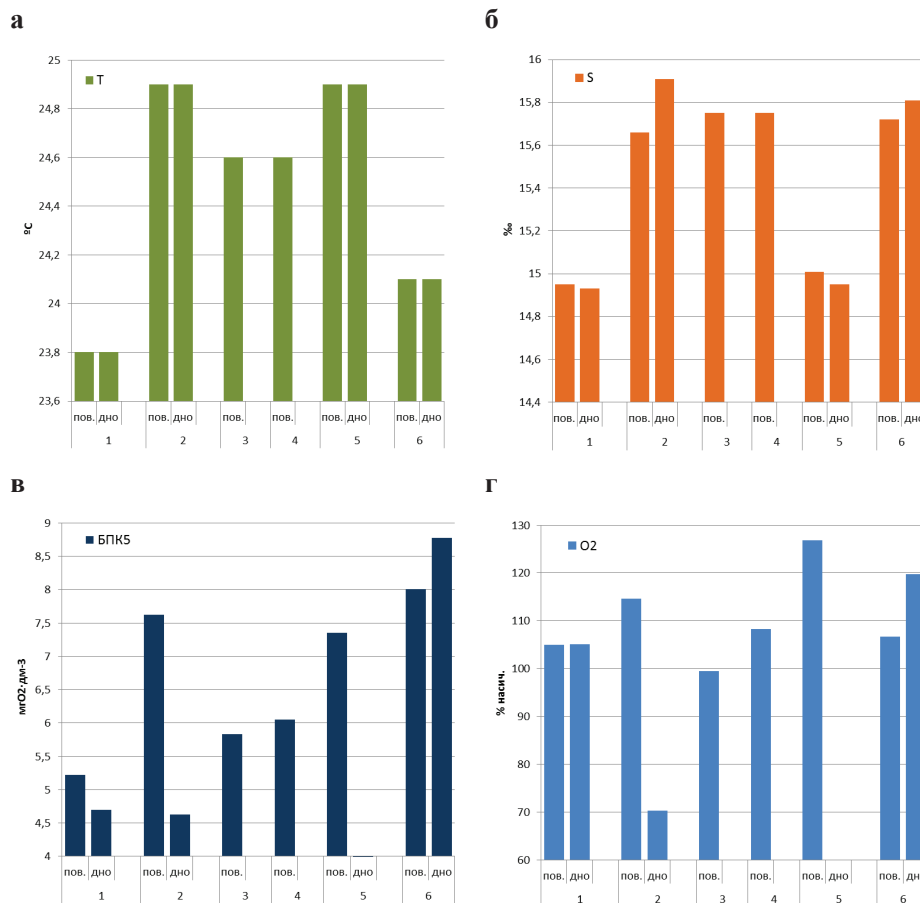


Рис. 7. Розподіл температури (а), солоності (б) БПК<sub>5</sub> (в) та кисню (г) на станціях мису Північний Одеський

шарах на ст. 6 – 8.01 і 8.78 мгО<sub>2</sub>·дм<sup>-3</sup> відповідно. Це свідчить про забруднення акваторії нестійкою органічною речовиною, можливо антропогенного походження.

Максимальні концентрації завислої речовини (69.8 мг·дм<sup>-3</sup>), амонійного азоту (90.2 мкгN·дм<sup>-3</sup>), фосфатів (85.9 мкгP·дм<sup>-3</sup> і 56.2 мкгP·дм<sup>-3</sup>), органіч-

ного азоту (3106 мкгN·дм<sup>-3</sup>) та органічного фосфору (80.3 мкгP·дм<sup>-3</sup>) відмічали на станції 6, а максимальні для акваторії мису Північний Одеський концентрації нітратів (90.7 мкгN·дм<sup>-3</sup>) – в поверхневому шарі на станції 3 (рис. 8).

Слід зазначити, що середній вміст суми мінеральної і органічної форми фосфору – фосфор

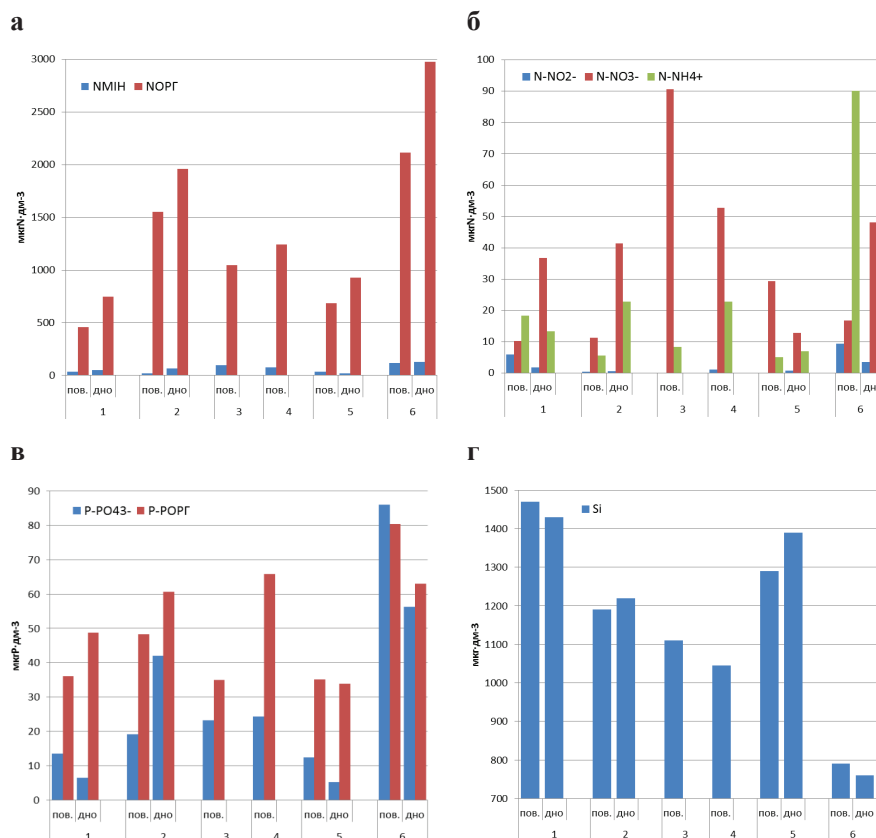


Рис. 8. Гідрохімічні показники на станціях мису Північний Одеський

загальний ( $P_{\text{ЗЛГ}}$ ) на акваторії бухти більш ніж в 2 рази вищі, ніж на прилеглий акваторії (рис. 8).

У водних екосистемах донні відкладення є показником процесів, що протікають у водній товщі. Основна роль в постачанні речовин у донні відкладення належить фітопланктону, особливо після його масового розвитку. Збагачення донних відкладень органічною речовиною, її деструкція і винос речовин з донних відкладень у водну товщу (особливо при малих глибинах) може впливати на інтенсивність продукційних процесів, тому що порові розчини донних відкладень легко переміщуються у придонний шар води. Донні відкладення в акваторії мису Північний Одеський представляли собою пісок дрібний, пісок дрібний з чорним мулом та рослинним детритом і чорний мул з запахом сірководню (станції 2 і 4). Присутність чорних мулів, особливо з запахом сірководню, свідчить про накопичення органічних речовин і розвиток у мулах гіпоксії. Аналіз вмісту мінеральних і органічних речовин в порових розчинах донних відкладень показав значне перевищення концентрацій мінеральних і органічних речовин азоту і фосфору, кремнію в бухті: по  $N_{\text{МІН}}$  в 1.8 раз,  $N_{\text{ОРГ}}$  в 1.2,  $P_{\text{МІН}}$  в 4.3,  $P_{\text{ОРГ}}$  в 3.3, кремнію в 1.9 разів (рис. 9). Основною формою азоту в порових розчинах був азот амонійний – 83% в балансі мінеральних сполук азоту максимальні концентрації відзначали

в чорних мулах з запахом сірководню на станції 2 – 2203.7 мкгN·дм<sup>-3</sup>. Такі концентрації азоту амонійного є показником деструкції органічної речовини в безкисневих умовах (гіпоксія). Для чорних мулів з запахом сірководню характерними були надвисокі значення  $P_{\text{МІН}}$  і  $P_{\text{ОРГ}}$  (851.7–1365.9 мкгP·дм<sup>-3</sup>, 1237.4–1928.3 мкгP·дм<sup>-3</sup> відповідно).

Вміст сполук азоту і фосфору в порових розчинах був в декілька разів вищим, ніж у водній товщі і при сприятливих умовах (високій температурі води, вітро-хвильовому скаламучуванню донних відкладень, виникненні відновлювальних умов у придонному шарі) їх надходження до водної товщі може змінювати гідрохімічні характеристики акваторії, сприяти додатковому продукуванню органічної речовини мікрофітів і розвитку придонної гіпоксії.

**Фітопланктон.** На 6 станціях району дослідження було виявлено 46 видів одноклітинних водоростей фітопланктону, що відносяться до 6 таксономічних класів: *Bacillariophyceae*, *Chlorophyceae*, *Prymnesiophyceae*, *Dinophyceae*, *Cyanophyceae*, *Euglenoidea*. Представники класів *Bacillariophyceae* та *Dinophyceae* формували однаковий внесок у видове багатство (по 19 видів). Внесок ціанобактерій (*Cyanophyceae*) складав 5 видів (11%). Класи *Chlorophyta*, *Prymnesiophyceae* та *Euglenoide* були представлені одним видом.

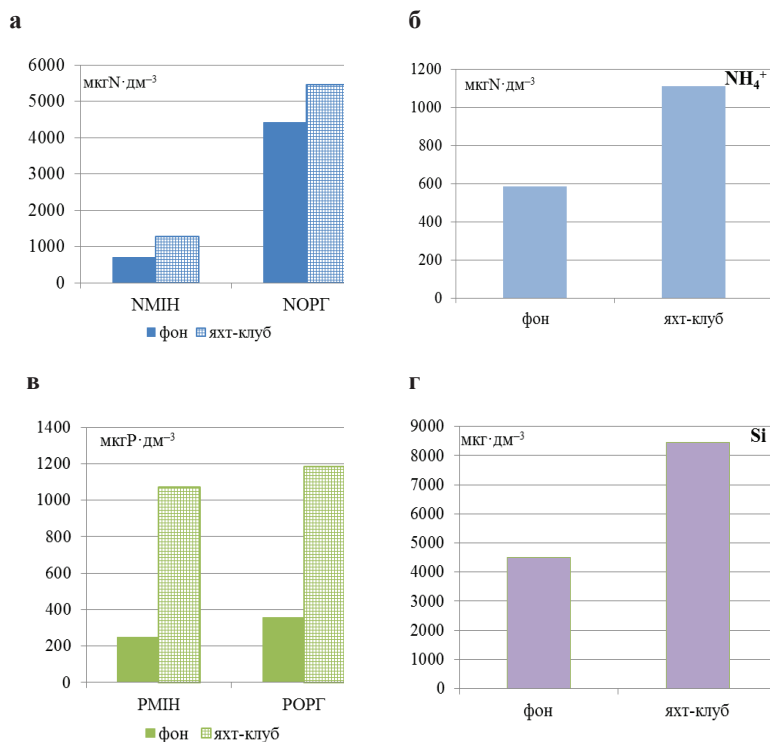


Рис. 9. Середні значення гідрохімічних показників в порових розчинах донних відкладень в районі мису Північний Одеський

Розподіл чисельності та біомаси угруповань фітопланктону в поверхневому та придонному шарах води відрізнявся від розподілу середніх для стовпа води значень цих показників (рис. 10).

Максимальна чисельність та біомаса в поверхневому шарі виявлена на ст. 4, мінімальна – на ст. 1. Максимальна для придонного шару чисельність та біомаса виявлені на ст. 6, мінімальна – на ст. 4. В цілому максимальна для району досліджень чисельність та біомаса угруповань фітопланктону зафіксована в придонному шарі на ст. 6 ( $5398 \cdot 10^3$  кл·л<sup>-1</sup>, 27156 мг·м<sup>-3</sup>), мінімальна – в придонному шарі на ст. 4 ( $148 \cdot 10^3$  кл·л<sup>-1</sup>, 1617 мг·м<sup>-3</sup>) (рис. 10).

Аналіз таксономічної структури угруповань фітопланктону показав, що найбільший внесок як в чисельність, так і біомасу на всіх станціях, за винятком ст. 6, вносили представники *Dinophyceae* (рис. 11). Для станцій 1-5 внесок *Dinophyceae* варіював від 73% в придонному шарі, на ст. 4 до 98% в поверхневому шарі цієї станції. На ст. 6 *Dinophyceae* за біомасою домінували тільки в поверхневому шарі (53%). В придонному шарі на ст. 6 максимальний внесок в біомасу угруповань фітопланктону створювали представники *Bacillariophyceae* (63%).

Домінуючим видом фітопланктону акваторії в період досліджень був представник *Dinophyceae* – *Prorocentrum micans* Ehrenberg. В поверхневих пробах на станціях 2-5 та в придонних пробах на стан-

ціях 2 та 5 чисельність цього виду перевищувала  $10^6$  кл·л<sup>-1</sup>, тобто мінімальне значення чисельності, що характеризує «цвітіння води» (рис. 6). Разом з іншим представником *Dinophyceae* – *Lingulodinium polyedrum* (Stein) Dodge він утворював комплекс, що формував основу біомаси на всіх станціях, окрім ст. 6.

Вибір локальної акваторії, в якій мають бути розташовані станції постійного моніторингу, передбачає попередню оцінку гетерогенності показників водного середовища. Це дозволяє визначити, яку саме акваторію (з умовно гомогенними умовами) будуть характеризувати результати моніторингу. У випадку мису Північний Одеський необхідно відповісти на питання, наскільки умови в цій акваторії відображають загальні умови прибережної зони Одеського регіону, що є складовою частиною району Дунай-Дніпровського міжріччя. Серед особливостей району вказується домінування вітрових течій; сезонна мінливість трансформованого стоку з Дніпро-Бузького лиману, який впливає на гідролого-гідрохімічну структуру вод району; розвиток вітрового прибережного апвелінгу, що забезпечує водообмін між поверхневим і придонним шарами акваторії в літній період року; наявність в прибережній зоні значних джерел евтрофікації (збагачення біогенними речовинами) і забруднення морського середовища. Для вод району також характерна значна сезонна мінливість всіх гідрохімічних параме-



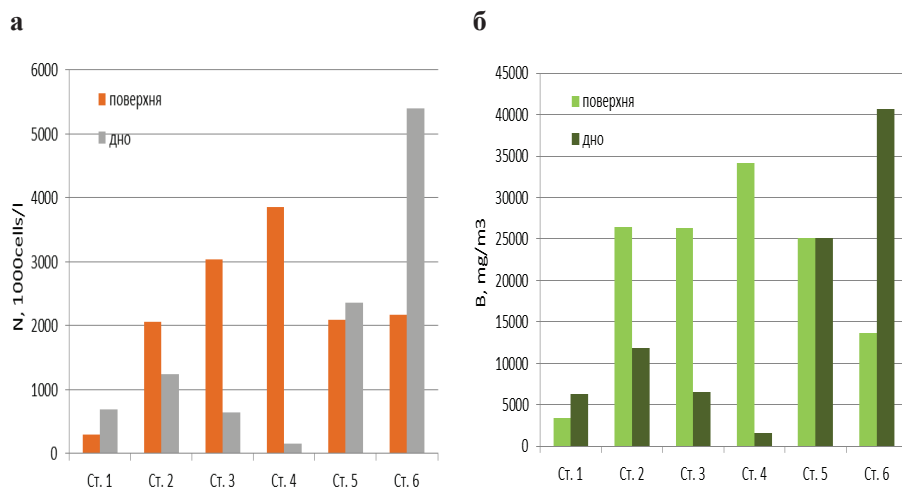


Рис. 10. Чисельність та біомаса фітопланктону на станціях мису Північний Одеський

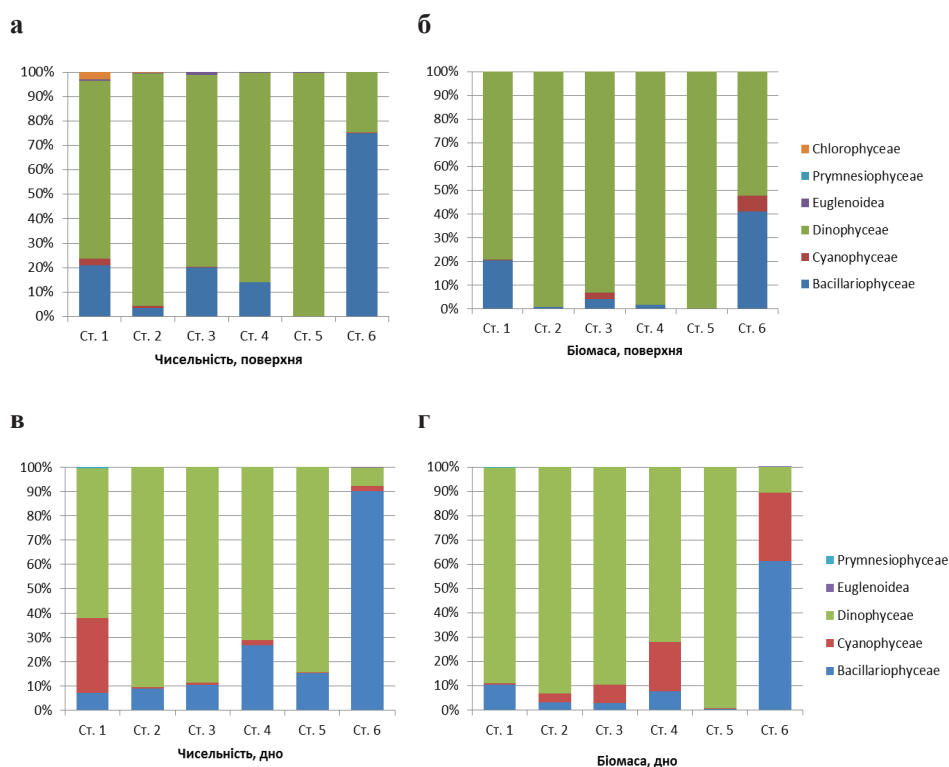


Рис. 11. Внесок представників різних класів одноклітинних водоростей в показники чисельності та біомаси фітопланктону мису Північний Одеський

трів, що пов'язано з розвитком продукційно-деструкційних процесів.

Аналіз супутникових даних показав, що зміни в розподілі водних мас спостерігались на відстані 0.8-1 км від берега. Мис Північний Одеський впливав на гідродинамічні умови і значно ускладнював розподіл водних мас в західному напрямку. Аналіз розподілу поверхневої температури показав, що

найбільший поверхневий прогрів води був локалізований в напрямку від мису Північний Одеський до Одеської затоки, що вочевидь пов'язано з умовами гідродинаміки, обумовленими характеристиками мису. Найбільша каламутність води за значеннями індексу NDTI була локалізована аналогічним чином. Наведені дані дозволяють говорити про те, що умови до мису і після нього суттєво різняться.

Результати досліджень угруповань фітопланктону мису Північний-Одеський виявили значну гетерогенність його просторового (горизонтального і вертикального) розподілу. Суттєво відрізнялись не тільки такі кількісні показники як чисельність та біомаса, але й таксономічна структура фітопланктону окремих станцій, що відбирались на відносно невеликій акваторії площею до 2 га. Так максимальна та мінімальна чисельність, виявлена для різних станцій, відрізнялись в 36, біомаса – в 25 разів.

Відмінності структурної організації фітопланктону дозволяють виділити три групи станцій, в межах яких структурна організація фітопланктону мала спільні характеристики. Спільною характеристикою «внутрішніх станцій» (ст. 2, 3, 4), розташованих в межах штучної бухти, було те, що чисельність та біомаса на поверхні були значно вищими, ніж в придонному шарі. В поверхневому шарі ці показники поступово збільшувались на станціях наближених до виходу із бухти, а в придонному, навпаки – знижувались (рис. 12). Таксономічна структура фітопланктону «внутрішніх» станцій характеризувалась вираженим домінуванням *Dinophyceae*. В напрямку виходу з бухти, де за біомасою домінували *Bacillariophyceae* та *Cyanophyceae* (ст. 6), спостерігалося відносне збільшення внеску *Bacillariophyceae* в біомасу поверхневого шару та *Cyanophyceae* – в біомасу придонного шару. «Зовнішні» станції 1 та 5 характеризувались близькими значеннями біомаси поверхневого та придонного шарів та зростанням біомаси на ст. 5, порівняно зі ст. 1. Ст. 6 різко відрізнялась від інших станцій вертикальним розподілом (максимальна для акваторії біомаса в придонному шарі була значно вища, ніж на поверхні), а також відмінною від інших станцій таксономічною структурою з вираженим домінуванням *Bacillariophyceae*, а не *Dinophyceae*, як на всіх інших станціях.

«Мозаїчний» характер просторового розподілу структурних характеристик угруповань фітопланктону свідчить про неоднорідність розподілу факторів середовища в цій прибережній локальній акваторії. Найважливішими факторами, що визначають просторовий розподіл фітопланктону, є характер та інтенсивність гідродинамічних процесів. Зниження інтенсивності водообміну дозволяє виявити вплив інших факторів, серед яких найважливішим є розподіл ресурсів – біогенних речовин. Аналіз гідрологічного та гідрохімічного режиму на різних станціях дозволяє виявити фактори, що визначали гетерогенність структури угруповань. Якщо аналіз впливу цих факторів виявляється недостатнім для пояснення особливостей розподілу фітопланктону, необхідний пошук додаткових чинників.

Водообмін в акваторії штучної бухти був дуже низький ( $4.9 \text{ см} \cdot \text{с}^{-1}$ ) як в поверхневому, так і при-

донному горизонтах. Для організмів фітопланктону стагнація теоретично має призводити до поступового осадження, що має забезпечувати концентрацію біомаси в придонному шарі. Зворотній розподіл, що мав місце на ст. 2-4, може бути пояснений на основі аналізу таксономічної структури угруповань фітопланктону. При низькій інтенсивності процесів перемішування водних мас в придонних шарах можуть створюватись менш сприятливі для життєдіяльності водоростей умови, ніж на поверхні. Низький водообмін, що при домінуванні представників *Bacillariophyceae* має зумовлювати їх поступове осадження, створює також умови для активного переміщення джгутикових водоростей. На ст. 2-4, що як і інші станції характеризуються значними концентраціями органічних форм біогенних речовин, домінуючими є джгутикові представники *Dinophyceae* *Prorocentrum micans* та *Lingulodinium polyedrum*. Одним з факторів, що може обумовлювати вертикальну міграцію цих міксотрофних водоростей, може бути низький рівень кисню, виявлений в придонному шарі на ст. 2. Низький рівень кисню в свою чергу може бути пов'язаний з розкладом (окисленням) маси органічних речовин і низьким надходженням кисню через поверхню внаслідок зниженого водообміну (див. рис. 4). Таким чином, нерівномірний вертикальний розподіл на «внутрішніх» станціях був обумовлений комплексом факторів. Гідрохімічні умови призвели до домінування водоростей, які в умовах гідрологічної стагнації здатні реалізувати вертикальну міграцію в більш насичений киснем верхній шар акваторії штучної бухти.

Водообмін на ст. 6 був ще нижчим, ніж на «внутрішніх» станціях ( $0.5 \text{ см} \cdot \text{с}^{-1}$ ). Але, на відміну від інших станцій, на ст. 6 мало місце домінування представників *Bacillariophyceae*, які поступово осаджувались в придонний шар, внаслідок чого біомаса там була значно вищою, ніж біля поверхні (рис. 12). Основною причиною корінних перебудов таксономічної структури фітопланктону були відмінності вмісту біогенних речовин. Аналіз їх безпосереднього впливу ускладнюється тим, що швидкість відновлення певного ресурсу, як правило, невідома. Очевидно, що якщо швидкість надходження біогенної речовини не перевищує швидкість її утилізації, спостерігаються прямі залежності з біомасою, якщо навпаки – зворотні.

Так, наприклад, масовий розвиток *Bacillariophyceae* спричинив зниження концентрацій кремнію на ст. 6, відносно інших станцій, де домінували водорості, що не потребують цього ресурсу (рис. 8). В той же час на ст. 6 виявлені більш високі, ніж на внутрішніх станціях, концентрації органічних форм біогенних речовин, що може бути спричинено

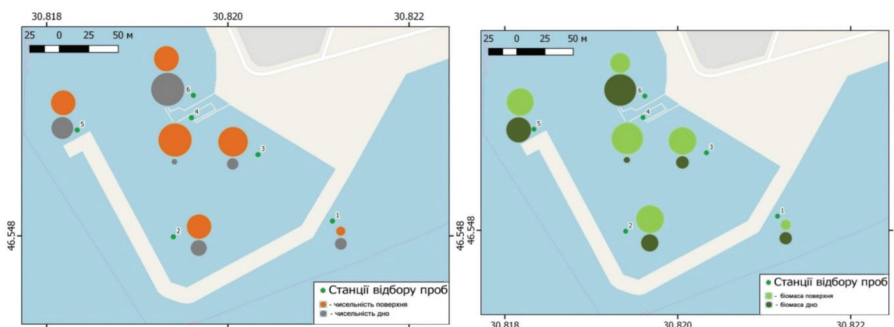


Рис. 12. Просторовий розподіл чисельності та біомаси фітопланктону поверхневого та придонного шарів води на станціях мису Північний Одеський

як їх меншим споживанням переважно автотрофними *Bacillariophyceae*, так і локальним джерелом біогенних речовин в безпосередній близькості від ст. 6. На користь останнього свідчать максимальні для акваторії, що досліджувалась, концентрації мінерального фосфору та амонію, виявлені на ст. 6, незважаючи на максимальну біомасу фітопланктону (рис. 8). Відомо, що амонійна форма азоту має перевагу для споживання автотрофними водоростями над усіма іншими мінеральними формами азоту. Різке підвищення вмісту амонію надало перевагу для розвитку переважно автотрофних представників *Bacillariophyceae* і локальної перебудови таксономічної структури угруповань фітопланктону. Таким чином, гетерогенність розподілу структурних характеристик фітопланктону на ст. 6 була зумовлена підвищенням концентрацій амонійної форми азоту, що в комплексі з підвищенням вмісту мінерального фосфору, створило умови для масового розвитку представників *Bacillariophyceae*. Вкрай низький водообмін на станції зумовив осадження водоростей в придонний шар. Незважаючи на низький водообмін, досить вираженим є вплив гідрохімічних умов, що склались на ст. 6, на «внутрішні» станції 2-4, відносна біомаса *Bacillariophyceae* та *Cyanophyceae* на яких поступово знижувалась по мірі віддалення від виходу з бухти.

Розподіл структурних характеристик фітопланктону на «зовнішніх» станціях також відповідає розподілу гідрологічних та гідрохімічних чинників. Значно більш активний, ніж на інших станціях, водообмін зумовив більш рівномірний вертикальний розподіл чисельності та біомаси. Треба зазначити, що в той час як на ст. 5 поверхнева і придонна швидкості циркуляції води були однакові (як і відповідні значення біомаси), на ст. 1 поверхнева швидкість перевищувала придонну. Це могло створювати умови до незначного зростання концентрації водоростей, що спостерігалось в придонному шарі цієї станції. Однак, при близькості гідрологічного та гідрохімічного режиму «зовнішніх» станцій, що обумовило схожість вертикального розподілу та так-

сономічної структури, на ст. 5 існували умови для зростання показників чисельності та біомаси. Проте, що водні маси на станціях 1 та 5 відрізнялись та не перемішувались в момент відбору, свідчать відмінності температурного режиму на цих станціях при близьких і більш низьких, ніж на інших станціях значеннях солоності. Таку «мозаїчність» розподілу фітопланктону в умовах досить активного водообміну можуть зумовлювати локальні гідродинамічні процеси, що створюють слоїстість водних мас навіть в межах невеликої акваторії. Таким чином, навіть відносна однорідність умов в точках відбору проб не гарантує зів'язані кількісні показники розвитку фітопланктону, що необхідно враховувати при виборі станцій постійного моніторингу.

Комплексні дослідження прибережної акваторії в районі мису Північний Одеський демонструють значну гетерогенність розподілу як факторів водного середовища, так і показників угруповань фітопланктону. Аналіз впливу факторів середовища дозволив пояснити цю гетерогенність структурної організації угруповань фітопланктону. Вона зумовлювалась комплексом факторів, найважливішими з яких був гідродинамічний та гідрохімічний режим. Низький водообмін на «внутрішніх» та «прибережних» станціях призвів до протилежного вертикального розподілу внаслідок відмінностей вмісту органічних та мінеральних форм біогенних речовин. Постачання амонійної форми азоту та мінерального фосфору на прибережній станції зумовило масовий розвиток представників *Bacillariophyceae*, в той час як на інших станціях високі концентрації органічних форм біогенних речовин забезпечували домінування представників *Dinophyceae*. В той час як представники *Bacillariophyceae* осаджувались, формуючи більш високі біомаси в придонному шарі, представники *Dinophyceae* навпаки мігрували в поверхневий шар, де були кращі кисневі умови. Більш інтенсивна гідродинаміка на «зовнішніх станціях» забезпечила більш рівномірний вертикальний розподіл на станціях, в той час як локальні гідродинамічні процеси

зумовили значну гетерогенність біомаси між цими близько розташованими станціями.

#### Висновки

На прикладі досліджень акваторії мису Північний Одеський демонструється, що результати інтерпретації супутникових даних можуть бути дієвим інструментом при виборі постійних станцій моніторингу фітопланктону. Вони дозволяють проаналізувати гетерогенність розподілу водних мас в районі, де планується прибережний моніторинг, і виділити акваторію, на яку можна розповсюджувати його результати. Для цього можуть бути залучені критерії і об'єми даних, що відповідають різним проміжкам часу. У випадку мису Північний Одеський розподіл водних мас проходив за критеріями поверхневої (яскравистої) температури, каламутності та напрямку течій. Зміни в розподілі водних мас спостерігались на відстані 0.8-1 км від берега. Мис Північний Одеський створював умови до зміни гідродинамічних умов і значно ускладнював розподіл водних мас в західному напрямку.

В якості прибережної акваторії, де може бути продемонстрована локальна гетерогенність розподілу показників фітопланктону, що формується внаслідок особливостей прибережної зони, була обрана акваторія в районі штучної бухти на мисі Північний Одеський. Аналіз розподілу фітопланктону на 6 станціях виявив значні відмінності у вертикальному та горизонтальному розподілі фітопланктону. Гідрохімічні та гідрологічні дослідження дозволили пояснити ці відмінності як наслідок впливу конкретних факторів, що визначають розвиток фітопланктону в прибережній зоні. Головними з них були різний характер водообміну на «внутрішніх» та «зовнішніх» станціях штучної бухти та відмінності вмісту органічних та мінеральних

форм біогенних речовин. Це призводило до різного типу вертикального розподілу біомаси на станціях і навіть значних відмінностей таксономічної структури угруповань фітопланктону локальної акваторії. Локальний вплив амонійної форми азоту та мінерального фосфору на прибережній станції зумовив масовий розвиток представників *Bacillariophyceae*, в той час як на інших станціях високі концентрації органічних форм цих елементів забезпечували домінування представників *Dinophyceae*. В той час як представники *Bacillariophyceae* осаджувались, формуючи більш високі біомаси в придонному шарі, представники *Dinophyceae* мігрували в поверхневий шар, де були кращі кисневі умови. Інтенсивна гідродинаміка на «зовнішніх станціях» забезпечила більш рівномірний вертикальний розподіл фітопланктону, в той час як локальні гідродинамічні процеси зумовили значну гетерогенність біомаси між цими близько розташованими станціями.

Проведені дослідження демонструють суттєві впливи, що спричиняє на розподіл показників фітопланктону, наявність природних особливостей берегів (миси, бухти та ін.) джерел прибережної евтрофікації, штучних прибережних споруд. Вони дозволяють у відповідності до стандартів Морської Стратегії вибрати локації станцій постійного моніторингу, де вплив цих факторів прибережної зони буде мінімальним та зробити висновки щодо їх кількості. Так, на основі проведених досліджень може бути рекомендований відбір проб у верхньому (0-10 м) шарі на двох станціях на відстані понад 150 м в північно-західному напрямку від акваторії штучної бухти. Час відбору може бути синхронізовано з наявністю супутникових даних в акваторії, що дозволить робити висновки про особливості розподілу гідрологічних показників.

#### Список використаних джерел

1. Зотов А.Б. Унификация расчета объема клеток микроводорослей Черного моря в соответствии со стандартом ЕС. *Альгология*. 2018. Т. 28. № 2. С. 208–232.
2. Международные океанологические таблицы. Вып. 1. Москва : Гидрометеиздат, 1969. 107 с.
3. Методика екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями / А.В. Гриценко та ін. Харків : УкрНДІЕП, 2012. 37 с.
4. Методы гидрохимических исследований океана. Москва : Наука, 1978. 261 с.
5. Методические рекомендации по определению комплекса морфо-функциональных показателей одноклеточных и многоклеточных форм водной растительности / Миничева Г.Г. та ін. Одесса, 2003. 37 с.
6. Руководство по химическому анализу морских вод. РД 52.10.243-92. Санкт-Петербург : Гидрометеиздат, 1993. 263 с.
7. Таблицы растворимости кислорода в морской воде. Ленинград : Гидрометеиздат, 1976. 195 с.
8. Utermohl H. Zur Vervollkommnung der quantitativen phytoplankton methodik. *Phytoplankton-Methodik. Mitteilungen Internationale Vereinigung Theoretische und Angewandte Limnologie*, 1958. 9: 1–38.
9. Marine Strategy Framework Directive. Directive 2008/56/EC of the European parliament and of the council of 17 June 2008. *Official Journal of the European Union* L 164/19, 25.6.2008.
10. Moncheva S., Parr B. Manual for Phytoplankton Sampling and Analysis in the Black Sea. Black Sea Commission. 2005. (updated 2010). 68 pp.
11. Water Framework Directive. Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council establishing a framework for the Community action in the field of water policy, *Official Journal (OJ L 327)* on 22 December 2000.

### References

1. Zotov, A.B. (2018). Unyfykatsiya rascheta ob'ema kletok mykrovodorosley Chernoho moria v sootvetstvyi so standartom ES [Unification of the calculation of the volume of cells of microalgae in the Black Sea in accordance with the EU standard]. *Al'holohyia. — Algology*, 28 (2), 208-232 [in Russian].
2. Mezhdunarodnye okeanolohycheskiye tablytsy [International oceanographic tables]. (1969). Vyp.1. M.: Hydrometeoyzdat [in Russian].
3. Hrytsenko, A.V. (Eds.). (2012). *Metodyka ekolohichnoi otsinky yakosti poverkhnevyykh vod za vidpovidnyy katehoriiamy [Methods of ecological assessment of surface water quality by relevant categories]*. Kh.: UkrNDIEP [in Ukrainian].
4. Metody hydrokhymycheskykh yssledovanyy okeana [Ocean hydrochemical research methods]. (1978). M.: Nauka [in Russian].
5. Mynychева, G.G. (Eds.). (2003). *Metodycheskiye rekomendatsyy po opredeleniyu kompleksa morfo-funktsional'nykh pokazateley odnokletochnykh y mnohokletochnykh form vodnoy rastytel'nosti [Methodical recommendations for determining the complex of morpho-functional indicators of uni- and multicellular form s of algae]*. Odesa [in Russian].
6. Rukovodstvo po khymycheskomu analyzu morskyykh vod [Guide to the Chemical Analysis of Marine Waters]. (1993). *RD 52.10.243-92*. Sankt-Peterburh: Hydrometeoyzdat [in Russian].
7. Tablytsy rastvorymosty kysloroda v morskoy vode [Tables of oxygen solubility in seawater]. (1976.). L.: Hydrometeoyzdat [in Russian].
8. Utermohl H. Zur Vervollkommnung der quantitativen phytoplankton methodik Phytoplankton-Methodik. *Mitteilungen Internationale Vereinigung Theoretische und Angewandte Limnologie*, 1958. 9: 1-38.
9. Marine Strategy Framework Directive. Directive 2008/56/EC of the European parliament and of the council of 17 June 2008, Official Journal of the European Union L 164/19, 25.6.2008.
10. Moncheva, S., Parr, B. (2005). Manual for Phytoplankton Sampling and Analysis in the Black Sea. Black Sea Commission. (updated 2010) 68 pp.
11. Water Framework Directive. Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council establishing a framework for the Community action in the field of water policy, Official Journal (OJ L 327) on 22 December 2000.

### APPROACHES TO THE SELECTION OF PHYTOPLANKTON MONITORING STATIONS ON THE EXAMPLE OF NORTH ODESSA CAPE

**Zotov A.B.**, PhD, Senior Researcher

Institute of Marine Biology of the National Academy of Sciences of Ukraine  
State Institution National Antarctic Scientific Center

**Sokolov Ye.V.**, PhD, Senior Researcher

Institute of Marine Biology of the National Academy of Sciences of Ukraine

**Bogatova Yu.I.**, PhD, Senior Scientist

Institute of Marine Biology of the National Academy of Sciences of Ukraine

**Pavlovska M.O.**, Researcher

State Institution National Antarctic Scientific Center

**Dzhulai A.O.**, Researcher

State Institution National Antarctic Scientific Center

The selection of monitoring stations is one of the important methodological tasks to be solved in the process of planning long-term environmental research. This determines the need to find approaches that meet the criteria of the EU Marine Strategy when selecting coastal phytoplankton monitoring stations. One of them is the use of the results of the interpretation of satellite data. They can be an effective tool in analyzing the heterogeneity of water mass distribution in the area where coastal monitoring is planned and allow to determine the water area to which its results can be extended. The next stage is a comprehensive study, which analyzes the heterogeneity of the distribution of phytoplankton in the local coastal waters and identifies the factors that determine these differences. According to the results of this analysis, the optimal location and number of monitoring stations is determined. These approaches are demonstrated by the example of studies of the local coastal Black Sea area. Analysis of the distribution of phytoplankton at 6 stations in the area of North Odessa Cape revealed significant differences in the vertical and horizontal distribution of phytoplankton. Studies of hydrological (surface temperature, turbidity and flow direction) and hydrochemical parameters have explained these differences as a consequence of the influence of specific factors. The main ones were the different nature of water exchange and differences in the content of organic and mineral forms of nutrients at stations. This led to different types of biomass distribution at stations and even significant differences in the taxonomic structure of phytoplankton groups within the local

water area. The conducted research allowed to determine locations where the impact of natural features of shores, artificial coastal structures and sources of coastal eutrophication is minimal. This allows them to be used as permanent monitoring stations in accordance with the standards of the EU Maritime Strategy.

**Key words:** monitoring, phytoplankton, satellite data, Black Sea.