

## ХІМІЯ

УДК 502.51(26):504.5:574.5]:556.114(477.7)

DOI <https://doi.org/10.32782/pcsd-2025-4-1>

### **Вікторія ГЕНЧЕВА**

кандидат біологічних наук, доцент кафедри хімії, Запорізький національний університет, вул. Університетська, 66, м. Запоріжжя, Україна, 69011

**ORCID:** 0000-0002-8764-4559

**Scopus Author ID:** 55971186700

### **Софія КАНАРОВА**

здобувач вищої освіти, Запорізький національний університет, вул. Університетська, 66, м. Запоріжжя, Україна, 69011

**Бібліографічний опис статті:** Генчева, В., Канарова, С. (2025). Оцінка забруднення морської води стійкими органічними поліютантами північно-західної частини Чорного моря. *Проблеми хімії та сталого розвитку*, 4, 3–9, doi: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2025-4-1>

## **ОЦІНКА ЗАБРУДНЕННЯ МОРСЬКОЇ ВОДИ СТІЙКИМИ ОРГАНІЧНИМИ ПОЛІУТАНТАМИ ПІВНІЧНО-ЗАХІДНОЇ ЧАСТИНИ ЧОРНОГО МОРЯ**

Прибережна зона північно-західної частини Чорного моря зазнає значного впливу різних видів антропогенної діяльності та індустріального розвитку, що викликає занепокоєння щодо можливого забруднення морської води. У зв'язку з цим особливої актуальності набувають дослідження, спрямовані на визначення рівнів стійких органічних забруднювачів, які здатні тривалий час зберігатися у воді, акумулюватися в донних відкладах і чинити токсичний вплив на водні екосистеми. Метою цього дослідження було оцінити рівні забруднення хлорорганічними пестицидами, поліхлорованими біфенілами та поліциклічними ароматичними вуглеводнями у прибережних водах м. Одеси шляхом відбору проб у трьох точках: пляж Аркадія, мис Малий Фонтан та Чорноморський яхт-клуб. Окрім визначення концентрацій органічних забруднювачів, були виміряні ключові фізико-хімічні параметри, такі як температура (°C), рН, солоність та вміст розчиненого кисню, щоб комплексно охарактеризувати якість води у цих районах. Оцінку потенційного екологічного ризику, пов'язаного зі вмістом стійких органічних забруднювачів (СОЗ), здійснювали із застосуванням коефіцієнта забруднення (Кз). Наукова новизна роботи полягає у комплексному поєднанні гідрохімічного аналізу з визначенням широкого спектра СОЗ у конкретних ділянках узбережжя, а також у паралельному врахуванні фізико-хімічних характеристик, що дозволило отримати багатofакторне уявлення про стан водного середовища та взаємозв'язки між умовами середовища і вмістом органічних поліютантів. Отримані дані показали, що фізико-хімічні параметри та концентрації СОЗ у більшості зон були близькими за значеннями і відповідали доброму та задовільному стану водного середовища. Незважаючи на це, регулярний моніторинг є необхідним для оцінки антропогенного впливу на екосистему та слугує важливим індикатором забруднення прибережних вод.

**Ключові слова:** гідрохімічний аналіз, стійкі органічні забруднюючі речовини, фізико-хімічні показники, Чорне море.

### **Viktorii GENCHEVA**

Candidate of Biological Sciences, Associate Professor at the Department of Chemistry, Zaporizhia National University, 66 Universytetska str., Zaporizhia, Ukraine, 69011

**ORCID:** 0000-0002-8764-4559

**Scopus Author ID:** 55971186700

### **Sofia KANAROVA**

Higher Education Student, Zaporizhia National University, 66 Universytetska str., Zaporizhia, Ukraine, 69011

**To cite this article:** Gencheva, V., Kanarova, S. (2021). Otsinka zabrudnennia morskoi vody stiikymy orhanichnymy poliutantamy pivnichno-zakhidnoi chastyny Chornoho moria [Assessment of marine water contamination by persistent organic pollutants in the northwestern part of the Black Sea]. *Problems of Chemistry and Sustainable Development*, 4, 3–9, doi: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2025-4-1>

## ASSESSMENT OF MARINE WATER CONTAMINATION BY PERSISTENT ORGANIC POLLUTANTS IN THE NORTHWESTERN PART OF THE BLACK SEA

*The coastal zone of the northwestern part of the Black Sea is subject to significant pressure from various types of anthropogenic activities and industrial development, raising concerns regarding potential marine water contamination. In this context, studies aimed at determining the levels of persistent organic pollutants (POPs), which can remain in water for prolonged periods, accumulate in sediments, and exert toxic effects on aquatic ecosystems, are particularly relevant. The aim of this study was to assess the contamination levels of organochlorine pesticides, polychlorinated biphenyls, and polycyclic aromatic hydrocarbons in the coastal waters of Odesa by collecting samples at three sites: Arkadia Beach, Malyi Fontan Cape, and the Black Sea Yacht Club. In addition to determining the concentrations of organic pollutants, key physicochemical parameters, such as temperature (°C), pH, salinity, and dissolved oxygen content, were measured to provide a comprehensive assessment of water quality in these areas. The potential ecological risk associated with the presence of POPs was evaluated using the pollution coefficient (Kp). The scientific novelty of the study lies in the integrated combination of hydrochemical analysis with the determination of a wide range of POPs in specific coastal locations, alongside the parallel consideration of physicochemical parameters. This approach enabled a multifaceted understanding of the aquatic environment and the identification of relationships between environmental conditions and the concentrations of organic pollutants. The results showed that physicochemical parameters and POP concentrations were similar across most sites, corresponding to good or satisfactory water quality. Nevertheless, even low levels of persistent organic pollutants underscore the need for regular monitoring, which serves as a crucial indicator of anthropogenic impact and enables the timely detection of trends in coastal water quality deterioration.*

**Keywords:** hydrochemical analysis, persistent organic pollutants, physicochemical parameters, Black Sea.

**Вступ.** Наявність та біоаккумуляція забруднювачів Чорного моря становить загрозу для водного середовища та здоров'я людини. Стійкі органічні забруднюючі речовини (СОЗ), до яких належать хлорорганічні пестициди (ХОП), поліхлоровані біфеніли (ПХБ), та поліциклічні ароматичні вуглеводні (ПАВ), визнані однією з найбільш проблемних груп антропогенних хімічних речовин протягом останніх кількох десятиліть. Незважаючи на те, що численні країни протягом багатьох років припинили зареєстроване використання СОЗ, ці техногенні хімічні речовини все ще зберігаються на значних рівнях у всьому світі. Через свої токсичні, мутагенні та канцерогенні властивості ці стійкі сполуки вважаються небезпечними для біоти та навколишнього середовища (Chidewe L et al., 2025).

**Аналіз літератури.** Питанням оцінки якості морських вод північно-західної частини Чорного моря (ПЗЧМ) присвячено багато робіт (наукових статей, монографій, звітів тощо), які орієнтовані на аналіз розподілу гідрологічних та гідрохімічних показників якості морських вод ПЗЧМ за багаторічний період та оцінку впливу берегових джерел забруднення на якість морських вод (Тітяпкін А. С., 2024, Деньга Ю. М., 2020, Олейнік Ю. В., 2022)

**Метою роботи** є здійснення гідрохімічної оцінки поверхневих вод північно-західної частини Чорного моря за джерелами антропогенного впливу.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Північно-західна частина Чорного моря (ПЗЧМ) – це мілководний шельфовий район, гідролого-гідрохімічний режим якого значною мірою визначається річковим стоком. Від річкового стоку залежить розподіл гідролого-гідрохімічних характеристик поверхневих вод та термохалінна стратифікація. Північно-західний сектор підлягає скидам з річок Дунай, Дніпро та Дністер. Річка Дунай доставляє близько половини алохтонного матеріалу до Чорного моря, тому західна частина Чорного моря отримує більше теригенного матеріалу, ніж східна (Readman J. W et al., 2002). Окрім річкового стоку, забруднення морської акваторії відбувається через промислові, сільськогосподарські та муніципальні стічні води, атмосферні опади, а також діяльність портів, видобуток і транспортування нафти на морському шельфі.

Стійкість забруднювачів, значною мірою визначається їхньою хімічною структурою. Зокрема заміщенню атомів Н у біфенільних кільцях атомами Сl та посиленням зв'язкам

C=X, спричиненим спряженням між електронами однієї пари та розвиненими  $\pi$ -зв'язками, ПХБ дуже стійкі до кислот, лугів та окиснювачів. Хімічна стабільність багатьох представників хлорорганічної групи (або їхніх безпосередніх і часто токсичних метаболітів) також є значною, оскільки їхні молекули побудовані переважно зі зв'язків C—C, C—H і C—Cl, які зазвичай хімічно малоактивні за нормальних умов довкілля (El Nemr A et al., 2016, Malhat F et al., 2018). ПАВ характеризуються стійкістю завдяки конденсованим ароматичним кільцям із сильною  $\pi$ -кон'югацією. Шістнадцять пріоритетних видів ПАВ з низькою молекулярною масою (2–3-кільцеві ПАВ) зазвичай існують як у розчиненому, так і у вигляді твердих частинок, тоді як ті, що мають високу молекулярну масу (4–6-кільцеві ПАВ), як правило, мають меншу леткість і адсорбуються на поверхню частинок, пов'язаних з органічним вмістом твердофазної матриці, і можуть осідати в нижніх осадових породах (Zhang L. et al., 2020).

Їх просторовий розподіл залежить від океанічних процесів, наприклад, їх поверхневі концентрації можуть зменшуватися через конвергенцію поверхні та опускання водної маси. Крім того, СО<sub>2</sub> можуть транспортуватися до глибинних шарів води через фізичні та біогеохімічні процеси, а також повертатися з осаду до верхніх шарів через процеси ресуспензії та апвелінгу (Liu M. et al., 2021).

Дослідження проведено на основі методів гідрохімічного аналізу, закономірностях просторово-часових змін якісних характеристик морських екосистем, теоретичному узагальненні та систематизації інформації про вплив антропогенних джерел забруднення.

Було відібрано проби з трьох ділянок (пляж Аркадія, мис Малий Фонтан та Чорноморський яхт-клуб) для характеристики їхніх фізико-хімічних властивостей у районі Одеського узбережжя. Глибина відбору проб поверхневого шару становила 0–1 м. Проведено *in situ* вимірювання температури (Т), рН та солоності у кожній точці відбору проб. Температуру визначали за допомогою стандартного термометра за Цельсієм з точністю  $\pm 0,5^\circ\text{C}$ . Значення рН та солоності вимірювали рН-метром (WTW inoLab pH 720) та солеміром (ГМ-65). Крім того, у лабораторних умовах визначали вміст розчиненого кисню та біохімічне споживання кисню за 5 діб (БСК<sub>5</sub>)

відповідно до стандартних аналітичних методик. Персистентні органічні забруднюючі речовини зазвичай визначають за допомогою аналітичних методів, затверджених такими організаціями, як Агентство з охорони довкілля США (USEPA) та Міжнародна організація зі стандартизації (ISO). Їх вилучення із проб здійснювали методом рідинно-рідинної екстракції гексаном у режимі високошвидкісного вортексування. Перед початком екстракції до проб вносили внутрішні стандарти ПХБ-29 та фенантрен-D10.

Концентровані екстракти ХОП і ПХБ аналізували за допомогою газового хроматографа Agilent 7890B (Palo Alto, CA, USA) з детектором електронного захоплення (GC/ECD) та капілярною колонкою HP-5MS (30 м  $\times$  0,32 мм  $\times$  0,25 мкм). Газ-носієй – гелій із постійною швидкістю потоку 2 мл/хв; інжекцію проводили в splitless-режимі при 250 °C. Температурну програму колонки задавали: 70 °C (1 хв)  $\rightarrow$  150 °C з швидкістю 10 °C/хв  $\rightarrow$  240 °C з швидкістю 4 °C/хв із витримкою 5 хв. Температура інжектора становила 250 °C. Обробку даних виконували за допомогою ChemStation. Кількісне визначення здійснювали порівнянням площ піків проб і стандартів, з побудовою калібрувальних кривих для дев'яти ХОП (гексахлорбензен, ліндан, гептахлор, елдрин, дилдрин, ендрин, p,p'-DDE, p,p'-DDD, p,p'-DDT) та семи ПХБ (PCB 28, PCB 52, PCB 101, PCB 118, PCB 138, PCB 152, PCB 180).

Концентрації цільових ПАВ визначали за допомогою газового хроматографа з квадрупольним мас-спектрометром (GC-MS/MS, 7890A-5975 S, Agilent, США) з капілярною колонкою DB-5MS (30 м  $\times$  0,25 мм  $\times$  0,25 мкм). Інжекція виконувалася в splitless-режимі при 500 °C, об'єм зразка – 15 мкл, вентиляція розчинника – 1 хв. Температурну програму колонки встановлювали: 60 °C (7 хв)  $\rightarrow$  200 °C (10 °C/хв, 1 хв)  $\rightarrow$  310 °C (7 °C/хв, 5 хв), що забезпечувало повне елюювання компонентів. Мас-детектор працював у режимі SIM (Selective Ion Monitoring) при температурі іонного джерела 230 °C та квадруполя 150 °C. Калібрування проводили зі стандартною сумішшю 16 пріоритетних ПАВ. Обробку даних здійснювали за допомогою ChemStation та AMDIS (Agilent, США).

Рівень забруднення морського середовища визначали за коефіцієнтом забруднення (Кз) за формулою:

$$K_s = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{ГДК_i}$$

де  $C_i$  – концентрація  $i$ -го забруднювача,  $ГДК_i$  – гранично допустима концентрація для  $i$ -го компоненту (відповідно директиві ЄС 2013/39/EU (MAC-EQS) та нормативу (Постанова КМУ. № 269. Правила охорони внутрішніх морських вод територіального моря від забруднення та засмічення, 1996),  $n$  – кількість визначених речовин

Усі перетворення та аналізи даних були виконані за допомогою MS Excel 365 та мови статистичних обчислень R Studio (версія 4.5.1), а рисунки були отримані за допомогою пакета ggplot2. Усі твердження про статистичну значущість вказують на  $p$ -значення  $< 0,05$ .

На рис. 1, рис. 2 представлені графічно фізико-хімічні характеристики морської води з різних місць протягом досліджуваного періоду (2 місяці).

Зафіксована температура має подібний профіль на всіх досліджуваних станціях і коливається від 12,60 °C до 20,50 °C. Ці варіації пов'язані зі змінами температури повітря та кліматичними умовами регіону, оскільки морське середовище реагує на погодні коливання.

Значення рН відіграють вирішальну роль у багатьох життєвих процесах у морі. Вони також можуть відображати рівень продуктивності та забруднення водних екосистем. Як показано на рис. 1, рН протягом усього періоду дослідження залишався слабколужним на всіх станціях, а максимальні значення були

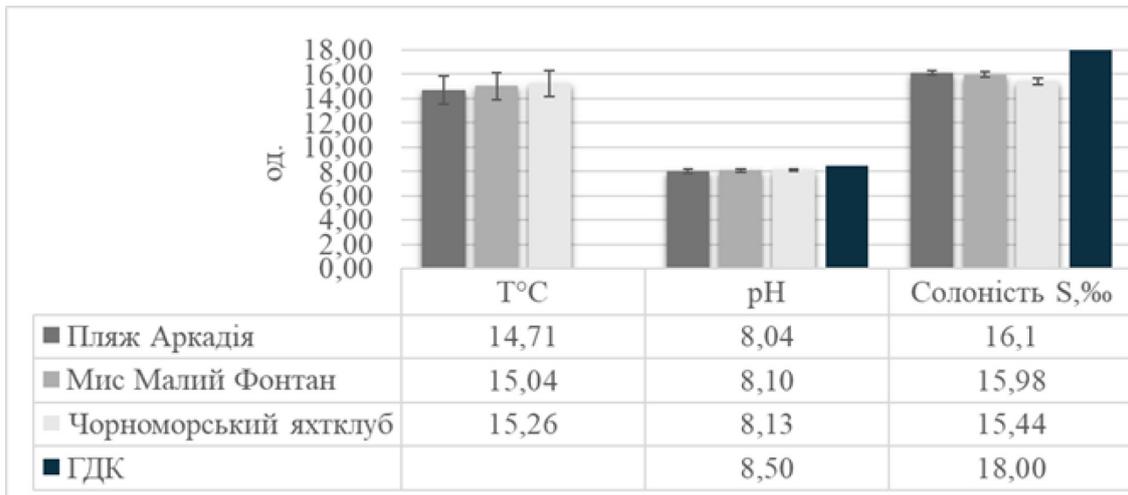


Рис. 1. Середньомісячні гідрохімічні показники з урахуванням похибки ( $n = 8; P = 0,95$ )

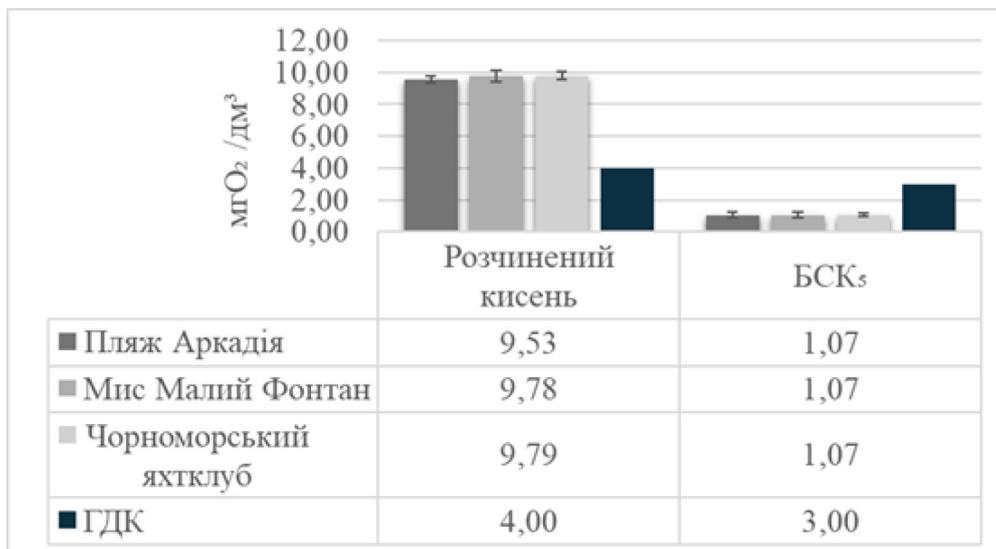


Рис. 2. Середньомісячні показники вмісту розчиненого кисню та БСК з урахуванням похибки ( $n = 8; P = 0,95$ )

zareєстровані на третій станції (8,13). Ці показники добре узгоджуються з типовим рН морської води – 6,5–8,5.

Показники солоності на досліджуваних станціях варіювали у межах від 15,44 ‰ до 16,10 ‰. Найнижча солоність була зафіксована біля Чорноморського яхтклубу, ймовірно, через вплив прісноводного притоку, тоді як вищі значення в Аркадії можуть бути пов'язані з більшою глибиною та слабшим прісноводним стоком.

Протягом періоду дослідження середній рівень розчиненого кисню коливався в межах від 9,53 до 9,79 мг/дм<sup>3</sup>, що свідчить про достатнє насичення води киснем і відносно сприятливі умови для водних організмів. Середнє значення БСК<sub>5</sub> становило 1,07 мг/дм<sup>3</sup> на всіх станціях спостереження, що вказує на низький рівень органічного забруднення та добру якість води (рис. 2).

При дослідженні прибережних вод на вміст індивідуальних ПХБ (рис. 3) було зафіксовано низький рівень забруднення. При порівнянні досліджених концентрації стандартних сумішей індивідуальних ПХБ від ПХБ-16 по ПХБ-65 (Ar-1254) та стандартної суміші від ПХБ-28 по ПХБ-73 (Ar-1260) з ГДК. ПХБ з  $\geq 3$  атомами хлору, розташованими в орто-положенні (ПХБ-31), мало найвищу концентрацію у зразках води. Усі цільові конгенери у зразках води Чорного моря не перевищували порогові критерії оцінки впливу на навколишнє середовище (OSPAR, 2019).

Найпоширенішою сполукою ХОП була сума метаболітів дихлордифенілтрихлорметан

( $\sum ДДТ = 3,52$  нг/л), за нею йшли гексахлорциклогексан ( $\sum ГХЦГ = 0,24$  нг/л) та гептахлор (0,34 нг/л) (рис. 4). Інші ХОП, такі як гексахлорбензол (ГХБ = 0,06 нг/л) та  $\sum$ цикло-дієнові пестициди (альдрин, дільдрин та ендрин = 0,22 нг/л), були виявлені у нижчих концентраціях. Найвища концентрація ПАВ спостерігалася у нафталіну (16,29 нг/л), хоча, незважаючи на його поширеність у зразках води Чорного моря, концентрація була нижчою за межу ГДК (рис. 4). Серед чотирикільцевих ПАВ були визначені бензо[b]флуорантен (BbF = 0,24 нг/л) та бензо[k]флуорантен (BkF = 0,12 нг/л), тоді як ПАВ з п'ятьма ароматичними кільцями, зокрема бензо[a]пірен (BaP = 0,03 нг/л) та бензо[g,h,i]пірен (BghiP = 0,04 нг/л), були виявлені у менших концентраціях, що свідчить про їх нижчу розповсюдженість у поверхневому шарі морської води.

Також була проведена оцінка екологічного стану прибережних водних масивів за коефіцієнтом забруднення для СОЗ. Значення Кз свідчить про задовільний екологічний стан на станціях Пляж Аркадія та Чорноморський яхтклуб, а також про добрий стан у районі мису Малий Фонтан. Найбільший вклад в рівень забруднення у досліджених районах припадає на концентрації гептахлору, що відповідає «поганому» екологічному стану.

**Висновки та перспективи подальших досліджень.** У цьому дослідженні вивчали концентрації стійких органічних забруднюючих речовин (СОЗ), а також фізико-хімічні параметри морської води на трьох станціях прибережної зони Чорного моря. Результати

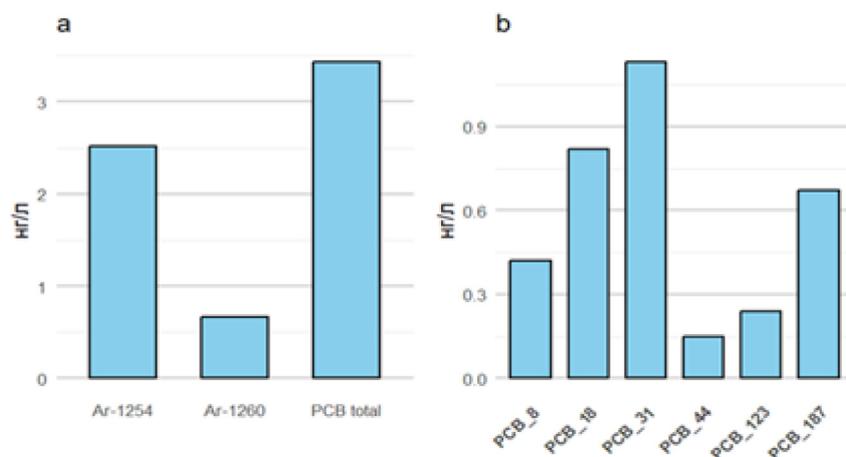


Рис. 3. Усереднена за трьома станціями концентрація ПХБ у поверхневому шарі води:  
а) загальна та за Aroclors (AR-1254: ПХБ-16–65, AR-1260: ПХБ-28–73);  
б) окремі конгенери ПХБ ( $n = 2$ )

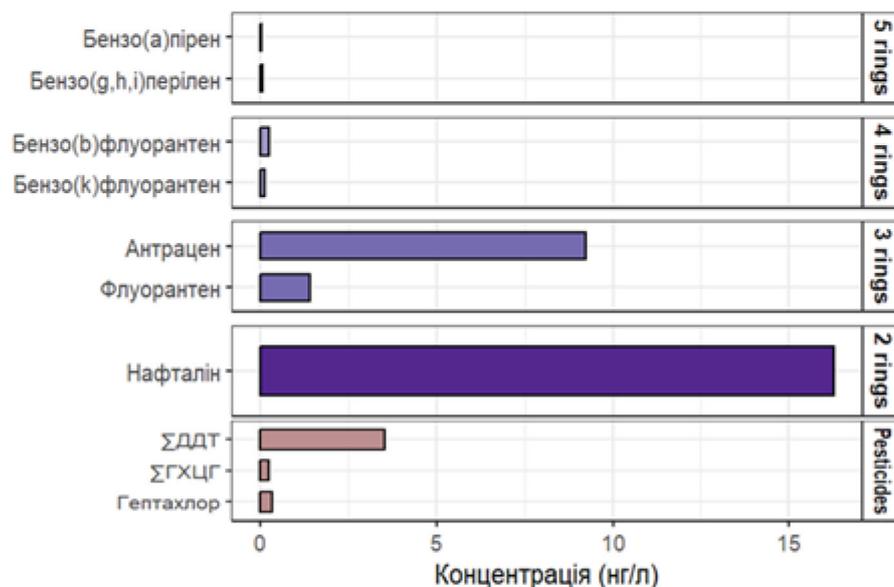


Рис. 4. Усереднена за трьома станціями концентрація деяких ХОП та ПАВ ( $n = 2$ )

концентрацій забруднювачів і фізико-хімічних показників були використані для оцінки екологічного стану води та виявлення джерел забруднення і не мали відхилень від нормативів якості. Встановлено, що фізико-хімічні параметри, такі як солоність, температура, прозорість та рівень оксигенації, відображають загальну якість води та її придатність для існування гідробіонтів. Оцінка концентрацій СО<sub>2</sub> дозволяє визначити основні забруднювачі та їх

внесок у формування сумарного рівня забруднення. Незважаючи на відносно задовільний стан водного середовища, не варто ігнорувати вплив антропогенної діяльності, що може призвести до поступового погіршення якості води у сучасних умовах. У цьому аспекті регулярний моніторинг фізико-хімічних показників і концентрацій СО<sub>2</sub> є ключовим інструментом для збереження екологічної цілісності морського басейну та забезпечення сталого розвитку.

#### ЛІТЕРАТУРА:

- Chidewe L., Zhang R., Shi X., Zhang Z. Occurrence and ecological risks of organochlorine pesticides and polychlorinated biphenyls in a semi-enclosed urban watershed. *Frontiers in Marine Science*. 2025. Vol. 12. P. 10.
- Тітяпкин А. С. Оцінка стану морських вод за показниками евтрофованості відповідно до ДЕС за дескриптором 5 РДМС. Одеса: НДУ УкрНЦЕМ, 2024. 95 с.
- Denga Y. M., Mykhailenko V. I., Oleynik Y. V., Safranov T. A. Peculiarities of Pollution by Some Persistent Organic Pollutants of the Marine Environment of the Northwestern Part of the Black Sea. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University. Series Ecology*. 2020. Vol. 23. P. 8–20.
- Oleinik I., Prekrasna I., Pavlovska M., Dykyi E., Slobodnik J., Alygizakis N., Solomenko L., Stoica E. Bacterial communities of the Black Sea exhibit activity against persistent organic pollutants in the water column and sediments. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2022. Vol. 234. P. 12.
- Readman J. W., Fillmann G., Tolosa I., et al. Petroleum and PAH contamination of the Black Sea. *Marine Pollution Bulletin*. 2002. Vol. 44, No.1. P. 48–62.
- El Nemr A., El-Sadaawy M. M. Polychlorinated biphenyl and organochlorine pesticide residues in surface sediments from the Mediterranean Sea (Egypt). *International Journal of Sediment Research*. 2016. Vol. 31, No. 1. P. 44–52.
- Malhat F. M., Loutfy N. M., Greish S. S., Ahmed M. T. A Review of Environmental Contamination by Organochlorine and Organophosphorus Pesticides in Egypt. *Journal of Toxicology and Risk Assessment*. 2018. Vol. 4, No. 1. P. 17.
- Zhang L., Yang L., Zhou Q. et al. Size distribution of particulate polycyclic aromatic hydrocarbons in fresh combustion smoke and ambient air: A review. *Journal of Environmental Sciences* 2020. Vol. 88. P. 370–384.
- Liu M., Hu J., Lin Y, et al. Full-depth profiles of PAHs in the Western South China Sea: Influence of Upwelling and Mesoscale Eddy. *Chemosphere*. 2021. Vol. 263. P. 12.
- Directives 2000/60/EC and 2008/105/EC as regards priority substances in the field of water policy. *Official Journal of the European Union*. 12 August 2013. L 226. P. 1–17.

11. Постанова КМУ від 29.02.96 № 269. Правила охорони внутрішніх морських вод територіального моря від забруднення та засмічення. *Офіційний вісник України*. 1996. № 9. С. 14–21.

12. OSPAR Commission. *2019 Updated Audit Trail of OSPAR EACs and Other Assessment Criteria Used to Distinguish Above and Below Thresholds*. 2019. P.22. URL: <https://www.ospar.org/documents?v=43066>. Дата звернення: 24.11.2025 р.

#### REFERENCES:

1. Chidewe, L., Zhang, R., Shi, X., & Zhang, Z. (2025). Occurrence and ecological risks of organochlorine pesticides and polychlorinated biphenyls in a semi-enclosed urban watershed. *Frontiers in Marine Science*, 12, 10.

2. Tityapkin, A. S. (2024). *Otsinka stanu morskyykh vod za pokaznykamy evtrofovanosti vidpovidno do DES za deskriptorom 5 RDMS [Assessment of marine water status based on eutrophication indicators according to the DES descriptor 5]*. Odesa : National Research Center of Ukraine, UkrNCEM [in Ukrainian].

3. Denga, Y. M., Mykhailenko, V. I., Oleynik, Y. V., & Safranov, T. A. (2020). Peculiarities of pollution by some persistent organic pollutants of the marine environment of the northwestern part of the Black Sea. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University. Series Ecology*, 23, 8–20.

4. Oleinik, I., Prekrasna, I., Pavlovska, M., Dykyi, E., Slobodnik, J., Alygizakis, N., Solomenko, L., & Stoica, E. (2022). Bacterial communities of the Black Sea exhibit activity against persistent organic pollutants in the water column and sediments. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 234, 12.

5. Readman, J. W., Fillmann, G., Tolosa, I., & et al. (2002). Petroleum and PAH contamination of the Black Sea. *Marine Pollution Bulletin*, 44(1), 48–62.

6. El Nemr, A., & El-Sadaawy, M. M. (2016). Polychlorinated biphenyl and organochlorine pesticide residues in surface sediments from the Mediterranean Sea (Egypt). *International Journal of Sediment Research*, 31(1), 44–52.

7. Malhat, F. M., Loutfy, N. M., Greish, S. S., & Ahmed, M. T. (2018). A review of environmental contamination by organochlorine and organophosphorus pesticides in Egypt. *Journal of Toxicology and Risk Assessment*, 4(1), 17.

8. Zhang, L., Yang, L., Zhou, Q., & et al. (2020). Size distribution of particulate polycyclic aromatic hydrocarbons in fresh combustion smoke and ambient air: A review. *Journal of Environmental Sciences*, 88, 370–384.

9. Liu, M., Hu, J., Lin, Y., & et al. (2021). Full-depth profiles of PAHs in the Western South China Sea: Influence of upwelling and mesoscale eddy. *Chemosphere*, 263, 12.

10. European Union. (2013). Directives 2000/60/EC and 2008/105/EC as regards priority substances in the field of water policy. *Official Journal of the European Union*, L 226, 1–17.

11. Cabinet of Ministers of Ukraine. (1996, February 29). *Pravyla okhorony vnutrishnikh morskyykh vod ta terytorialnoho moria vid zabrudnennia ta zasmichennia [Rules for the protection of internal marine waters and the territorial sea from pollution and littering]* (Resolution No. 269). *Ofitsiyni visnyk Ukrainy*, (9), 14–21. [in Ukrainian].

12. OSPAR Commission. (2019). *Updated audit trail of OSPAR EACs and other assessment criteria used to distinguish above and below thresholds*. 22. Retrieved from <https://www.ospar.org/documents?v=43066>.

Стаття надійшла: 27.11.2025

Прийнято: 08.12.2025

Опубліковано: 30.12.2025