

DOI <https://doi.org/10.26661/2312-2056/2018-23/1-11>

УДК 574.583+574.587:282.243.7.05

**ФОТОСИНТЕТИЧНІ ПІГМЕНТИ АЛЬГОФЛОРИ ЯК  
БІОМАРКЕРИ ЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ ВОДНИХ  
ОБ'ЄКТІВ  
(НА ПРИКЛАДІ ПОНИЗЗЯ ДУНАЮ)**

*Васенко О. Г., Верніченко Г. А.,*

*Верніченко-Цветков Д. Ю.*

*Український науково-дослідний інститут екологічних  
проблем*

*vernuczenko@meta.ua*

Наведено результати досліджень, які виконувалися посезонно з 2007 по 2017 рр., з вивчення вмісту фотосинтетичних пігментів у фітопланктоні і донних відкладеннях пониззя Дунаю. Було зроблено аналіз просторово-часової мінливості абсолютних і відносних пігментних характеристик функціонування альгофлори

складного і динамічного екотона «річка–море». Виявлено, що усереднена за часом концентрація хлорофілу *a* у фітопланктоні акваторії становить  $8,39 \pm 0,61$  мкг/дм<sup>3</sup>, в донних відкладеннях –  $8,48 \pm 1,31$  мкг/г, що дозволяє віднести досліджені води до категорії мезо-евтрофних. Усереднене значення екологічного індексу якості вод, розраховане на основі вмісту рослинних пігментів в екосистемі, становить 0,72, що свідчить про добрий екологічний стан української частини Дунаю.

*Біоіндикація, фотосинтетичні пігменти, фітопланктон, донні відкладення, пониззя Дунаю*

Сучасні підходи до оцінювання екологічного стану поверхневих вод базуються на використанні показників всіх основних біологічних компонентів водних екосистем, у тому числі фітопланктону та фітобентосу. Дослідження, які виконані в Україні та за кордоном, свідчать про те, що серед гідробіонтів представники альгофлори найбільш чутливо реагують на зміни умов зовнішнього середовища та, в свою чергу, суттєво впливають на якість поверхневих вод [5, 15]. Значення альгофлори для функціонування екосистем полягає перш за все в її здатності, поряд з вищою водною рослинністю, забезпечувати енергетичну базу всіх наступних ланок трофічного ланцюга.

Серед тих характеристик функціонування альгоугруповань, які є достатньо інформативними та можуть бути найбільш точно визначені інструментальними методами, особливе місце належить показникам вмісту фотосинтетичних пігментів, як безпосередньо пов'язаним із інтенсивністю процесів новоутворення й деструкції органічної речовини [9, 20].

Хлорофіл *a* (Хл *a*) є головним компонентом пігментного апарату водоростей. Його концентрація відображає чисельність водоростей та їх потенційну здатність до фотосинтезу. Відносний вміст додаткових хлорофілів (*b*, *c*, *d*), феопігментів (продуктів трансформації хлорофілу) і каротиноїдів дає уявлення про таксономічний склад і фізіологічний стан альгоугруповань. Аспекти використання індикаційних властивостей рослинних пігментів різноманітні, однак далеко не всі ще розкриті. Величини вмісту Хл *a* у одиниці об'єму води використовуються для визначення біомаси фітопланктону, оцінювання трофності та

екологічного статусу водних об'єктів, виявлення просторової та часової неоднорідності водних мас, аналізу змін клімату та ін. [9, 14, 20]. З огляду на високу діагностичну значущість вмісту Хл *a* фітопланктону для оцінювання «здоров'я» гідроекосистем, цей показник широко використовується у класифікаціях поверхневих вод [6, 10, 16, 21].

Слід, однак, відзначити, що запропоновані класифікації суттєво відрізняються за градаціями значень, які встановлюються для окремих класів, бо шкали оцінки розробляються на основі експериментальної бази, отриманої на водних об'єктах різних типів, розташованих у різних країнах і фізико-географічних зонах. Згідно з керівними документами ЄС, при визначенні екологічного статусу конкретного водного об'єкту доцільно коригувати системи типізації поверхневих вод з урахуванням специфіки умов функціонування досліджуваної гідроекосистеми.

Пігментний фонд донних відкладів поверхневих вод почав досліджуватися відносно недавно, тому чинники його формування та трансформації вивчені значно гірше, ніж пігментів фітопланктону. Однак, враховуючі більш високу консервативність донних відкладів, вміст у них рослинних пігментів привертає в останні роки все більшу увагу. Найчастіше пігментні показники використовують для встановлення біомаси фітобентосу, а також для оцінки рівня та темпів евтрофування водних об'єктів [12, 22]. Крім того, рослинні пігменти можуть розглядатися в якості індикаторів антропогенного забруднення поверхневих вод, а також для оцінки процесів ацидофікації вод і виявлення специфіки гідрологічних та гідродинамічних умов функціонування біоценозу [2, 12].

Осадження, накопичення та трансформація пігментів у донних відкладах визначається сукупною дією біологічних, фізичних і хімічних чинників у водному об'єкті і на водозборі. Склад і кількість фотосинтетичних пігментів у товщі донних відкладів відображає історію розвитку гідроекосистеми й тому успішно використовується у палеолімнологічних дослідженнях. За палеолімнологічними даними щодо динаміки пігментного фонду донних відкладів робляться висновки про еволюцію видового складу

альгоценозів, кліматичні зміни та інтенсивність «цвітіння» водойм у різні роки [12, 17].

Проблема типізації водних об'єктів за вмістом рослинних пігментів у донних відкладах поки що знаходиться на початковому етапі вирішення. Так, німецькими вченими запропонована класифікація трофності водойм [19], а австралійськими – водотоків та естуаріїв [23] у залежності від вмісту Хл *a* у донних відкладах. Однак вказані класифікації поки ще не апробовані в інших регіонах.

Таким чином, можна констатувати, що для використання пігментів альгофлори у цілях діагностики екологічного стану конкретного водного об'єкту потрібно виконання комплексу спеціальних досліджень щодо уточнення шкал запропонованих класифікацій.

Враховуючи особливу біосферну значущість дельти Дунаю та її статус як транскордонного водного об'єкту, можна вважати доцільним аналіз перспективності використання пігментних показників для визначення екологічного благополуччя цієї акваторії. Слід відзначити, що виконання вказаних досліджень важливе також у зв'язку з недостатньою вивченістю функціонування таких складних та динамічних гідроекосистем як екотон «ріка-море». Актуальність досліджень екологічної ситуації у пониззі Дунаю обумовлена також відновленням у 2004 р. та експлуатацією глибоководного суднового ходу (ГСХ) Дунай-Чорне море.

### **Матеріали та методи досліджень**

Аналіз вмісту фотосинтетичних пігментів у фітопланктоні та у донних відкладах пониззя Дунаю проводився з 2007 до 2017 рр. посезонно: навесні (квітень–травень), влітку (серпень–початок вересня) та восени (жовтень–листопад). Розташування пунктів відбору проб вказано на рисунку 1 та в таблиці 1.

Відбір проб води, фітопланктону та донних відкладів здійснювався згідно з існуючими методичними документами України [7] та з урахуванням рекомендаційних матеріалів ЄС [25]. Вміст рослинних пігментів фітопланктону визначали стандартним екстрактним спектрофотометричним методом

[4], а у донних відкладах (шар 0–5 см) – за модифікованим методом Штойбінга [3]. Розрахунки вмісту пігментів у фітопланктоні і донних відкладах виконували за стандартним методом *UNESCO* [13] і за методом Лоренцена [13]. Відношення хлорофілу *a* та каротиноїдів оцінювали за індексом  $D_{480}/D_{665}$ .

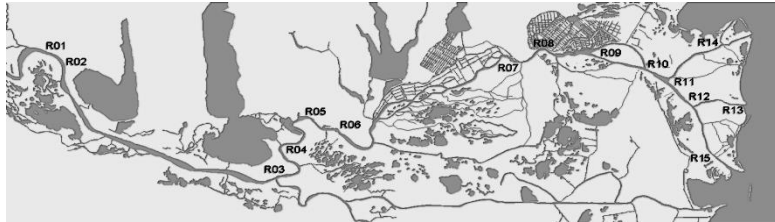


Рисунок 1 – Схема розташування пунктів відбору проб води та донних відкладів

Figure 1 – Scheme of location of the water and sediments sampling

Таблиця 1 – Пункти відбору проб води та донних відкладів

Table 1 – Sampling points for water and bottom sediments

Код	Назва, локалізація	Відстань до морського краю дельти
R01	Дунай, 2 км вище м. Рені	131-й км (71 миля)
R03	Дунай, Ізмаїльський Чатал, вище поділу на Тульчинський та Ізмаїльський рукави	116-й км
R06	Рукав Кілійський, 1 км нижче м. Ізмаїл	89-й км
R07	Рукав Кілійський, 4 км вище м. Кілія	49-й км
R09	Рукав Кілійський, 13 км нижче м. Кілія	32-й км
R10	Рукав Кілійський, 1 км вище м. Вілково	21-й км
R11	Рукав Очаківський, 2 км нижче м. Вілково	17-й км
R12	Рукав Старостамбульський, вище відгалуження рукава Бистрий	11-й км
R14	Рукав Очаківський, кінець поділу на два рукава	6-й км
R15	Рукав Старостамбульський	4-й км
R13/1	Рукав Бистрий	1-й км
R13/0	Рукав Бистрий, вихід в море	0-й км

Оцінка екологічного стану пониззя Дунаю за вмістом фотосинтетичних пігментів у фітопланктоні й донних відкладах виконувалася на основі запропонованих класифікацій [8, 23], та за коефіцієнтом екологічної якості (*EQR*) [11, 26]. Концентрації пігментів розраховувалися: для фітопланктону у  $\text{мкг/дм}^3$ , а у донних відкладах – у  $\text{мкг/г}$  повітряно сухого ґрунту. Статистична обробка результатів досліджень проводилася за допомогою стандартних програм.

### Результати та їх обговорення

Проведені дослідження показали, що концентрації фотосинтетичних пігментів як у фітопланктоні, так і в донних відкладах, коливаються у широких межах (табл. 2). Так, вміст чистого хлорофілу *a* (*Хл a*) у фітопланктоні змінювався від 0,30 до 45,61  $\text{мкг/дм}^3$ , складаючи у середньому в період досліджень  $8,39 \pm 0,61 \text{ мкг/дм}^3$ . У донних відкладах концентрація цього пігменту коливалася від 0,081 до 97,24  $\text{мкг/г}$ , середнє значення дорівнювало  $8,48 \pm 1,31 \text{ мкг/г}$  (табл. 2).

Відносно невисокі значення вмісту *Хл a* у фітопланктоні та в донних відкладах досліджених водних об'єктів обумовлені значною швидкістю течії, високою каламутністю та гідрофізичною активністю водних мас, що негативно впливає на розвиток фітопланктону й фітобентосу [5, 11].

Про несприятливі для альгофлори умови існування свідчить і значне перевищення вмісту хлорофілу (*Хл*) у сумі з феопігментами у порівнянні з вмістом *Хл a* як у фітопланктоні, так і в донних відкладах. Зокрема, у період досліджень середня концентрація *Хл* у сумі з феопігментами становила в середньому по акваторії у фітопланктоні  $22,24 \pm 1,01 \text{ мкг/дм}^3$ , у донних відкладах –  $14,89 \pm 1,46 \text{ мкг/г}$ .

Слід зазначити, що часто при відносно високих концентраціях пігментів у фітопланктоні, реєструється зниження їх вмісту у донних відкладах, тобто спостерігається зворотна залежність між цими показниками. Наприклад, при високій концентрації *Хл a* у фітопланктоні пункту R12, вміст пігментів у донних відкладах цього пункту значно менший, ніж середнє значення по акваторії. Аналогічна ситуація спостерігається і в пункті R01. У той же час, у пунктах R11 і

R14 при невисокій концентрації Хл *a* у фітопланктоні, вміст пігментів у донних відкладах суттєво перевищує їх середню концентрацію по акваторії. Однак, вказана залежність не завжди спостерігається в силу різних причин, специфічних для кожного пункту спостережень.

Таблиця 2 – Просторова мінливість вмісту хлорофілу *a* у фітопланктоні та донних відкладах пониззя Дунаю

Table 2 – Spatial variability of chlorophyll *a* content in phytoplankton and sediments of the lower reaches of the Danube

Пункт	Код	Середньобагаторічні концентрації Хл <i>a</i>			
		у фітопланктоні		у донних відкладах	
		середнє, мкг/дм <sup>3</sup>	%*	середнє, мкг/г	%*
Вище м. Рені	R01	9,71±2,18	115,8	5,16±1,65	60,9
Вище рук. Тульчинський	R03	13,04±3,50	155,4	8,97±3,38	105,8
Нижче м. Ізмаїл	R06	7,77±2,51	92,6	4,66±1,31	55,0
Вище м. Кілія	R07	8,17±1,92	97,4	6,72±1,77	79,2
Нижче м. Кілія	R09	7,33±2,25	87,3	5,19±0,87	61,2
Вище м. Вілково	R10	9,30±1,87	110,9	7,11±1,17	83,8
Нижче м. Вілково	R11	6,09±1,75	72,5	14,78±5,88	174,3
Вище рук. Бистрий	R12	9,95±2,89	118,6	4,93±0,68	58,1
Рук. Бистрий	R13/1	8,08±1,62	96,3	15,79±4,21	186,1
Рук. Бистрий	R13/0	8,02±2,54	95,6	7,37±2,25	86,9
Рук. Очаківський	R14	6,68±1,84	79,6	17,99±2,70	212,1
Рук. Старостамбульський	R15	7,61±1,77	90,7	5,22±1,29	61,6
Середнє по акваторії Хл <i>a</i>		8,39±0,61	100,0	8,48±1,31	100,0

Примітка: \* – % від середнього по акваторії за період досліджень

Встановлено, що мінливість вмісту рослинних пігментів у донних відкладах вища, ніж у фітопланктоні (рис. 2). Так, сумарний коефіцієнт варіації вмісту Хл *a* у фітопланктоні становив в середньому по акваторії в період досліджень 106,1 %, а у донних відкладах 186,4 %.

Значна мінливість вмісту пігментів у донних відкладах пояснюється тим, що формування пігментного фонду на дні акваторії залежить від великої кількості чинників. Зокрема, суттєве значення мають типологічні ознаки донних відкладів: гранулометричний склад, вміст органічних речовин та ін.

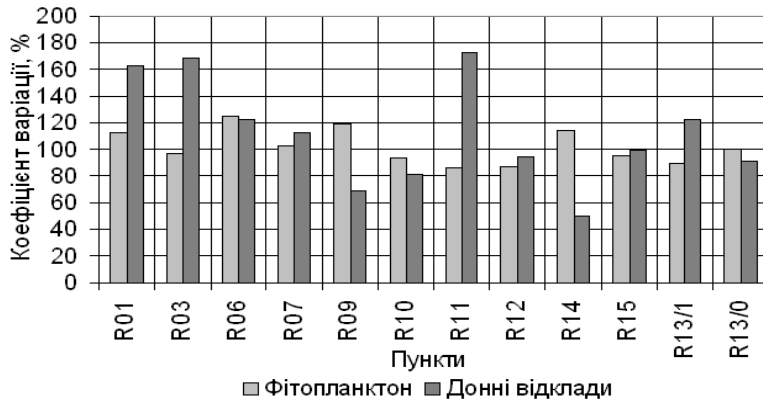


Рисунок 2 – Коефіцієнти варіації мінливості вмісту Хл *a* у фітопланктоні та донних відкладах акваторії пониззя Дунаю

Figure 2 – Variation coefficients of variability of the Chl *a* content in phytoplankton and sediments of the Danube lower reaches

Найбільші концентрації рослинних пігментів виявляються у мулах, а найменші – у промитих пісках. Так, середня концентрація Хл у сумі з феопігментами у період досліджень становила: у промитих пісках 0,76 мкг/г; у слабкозамулених пісках 3,50 мкг/г; у сильнозамулених пісках 9,18 мкг/г; у мулах піщанистих 17,00 мкг/г; у мулах глинистих 19,35 мкг/г. Навіть в одному і тому ж пункті концентрація пігментів у донних відкладах правого та лівого берегів може відрізнятися. Наприклад, у пункті R01 у листопаді 2008 р. концентрація Хл *a* у донних відкладах (мули піщанисті) правого берега складала 9,874 мкг/г, у донних відкладах на фарватері річки (слабкозамулені піски) 0,552 мкг/г; у донних відкладах лівого берега (слабкозамулені піски) 0,671 мкг/г.

Спостерігається різниця у середній концентрації пігментів у донних відкладах головного русла (Кілійський рукав) та рукавів: Старостамбульського, Бистрого й Очаківського. Так, середньобагаторічна концентрація Хл *a* у руслі становила 6,30 мкг/г, а в рукавах – 11,01 мкг/г. Це може бути пов'язано зі зниженням швидкості течії у рукавах, а також із різницею у морфометричних характеристиках дна окремих пунктів.



Встановлено, що вміст пігментів у донних відкладах мінімальний зазвичай навесні, а у фітопланктоні – восени. Так, середні концентрації Хл *a* у фітопланктоні акваторії в період досліджень становили: навесні – на початку літа (квітень-червень)  $13,31 \pm 3,07$  мкг/дм<sup>3</sup>, влітку – на початку осені (серпень-вересень)  $8,45 \pm 2,44$  мкг/дм<sup>3</sup>, восени (жовтень-грудень)  $4,57 \pm 0,87$  мкг/дм<sup>3</sup>. У донних відкладах у ці ж сезони, відповідно, спостерігалися концентрації:  $5,67 \pm 1,70$ ;  $18,20 \pm 8,75$  і  $7,55 \pm 2,99$  мкг/г.

Мінливість вмісту Хл *a* в донних відкладах у часі, як і у просторі, вища, ніж у фітопланктоні (рис. 3).

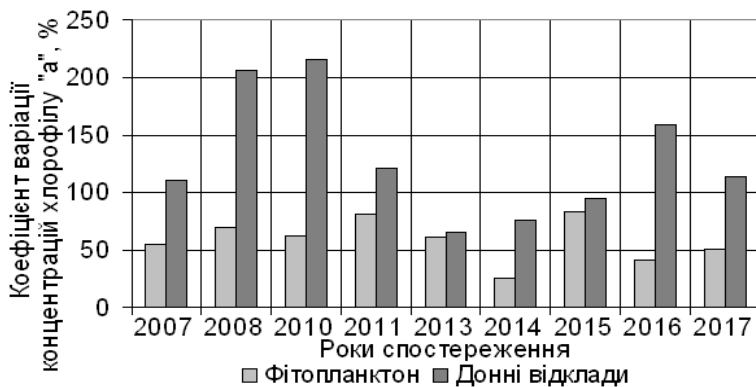


Рисунок 3 – Коефіцієнти варіації динаміки вмісту Хл *a* у фітопланктоні та донних відкладах пониззя Дунаю

Figure 3 – Variation coefficients of dynamics of the Chl *a* content in phytoplankton and sediments of the Danube lower reaches

Цю закономірність можна пояснити впливом нестабільності характеристик донних відкладів, зумовленої процесом транспорту й перевідкладення наносів, який в дельтах річок, зазвичай, є дуже інтенсивним і, до того ж, часто різноспрямованим (залежно від гідрологічного режиму). Крім того, слід відзначити високу динамічність зв'язків між фітопланктоном та фітомікробентосом цієї акваторії.

Таким чином, значні коливання пігментних характеристик як фітопланктону, так і донних відкладів, відображають характерний для екотонів пульсуючий тип стійкості екосистем.

Існують певні відмінності у ступені мінливості досліджених пігментних показників.

Найбільш динамічним виявився показник вмісту Хл *a*. Так, наприклад, у квітні 2007 р. у пункті R01 концентрація цього пігменту в донних відкладах складала 2,647 мкг/г, а в пункті R03 8,646 мкг/г. У квітні 2010 р., після високої повені, вміст Хл *a* в донних відкладах цих пунктів становив, відповідно, 0,256 та 0,953 мкг/г.

Найменш суттєво змінюються значення відносних характеристик, таких, наприклад, як відношення концентрації каротиноїдів до вмісту Хл *a* або частка феопігментів у сумі Хл + феопігменти.

Як приклад, на рисунку 4 наведено просторовий розподіл коефіцієнтів варіації окремих показників пігментного фонду донних відкладів.

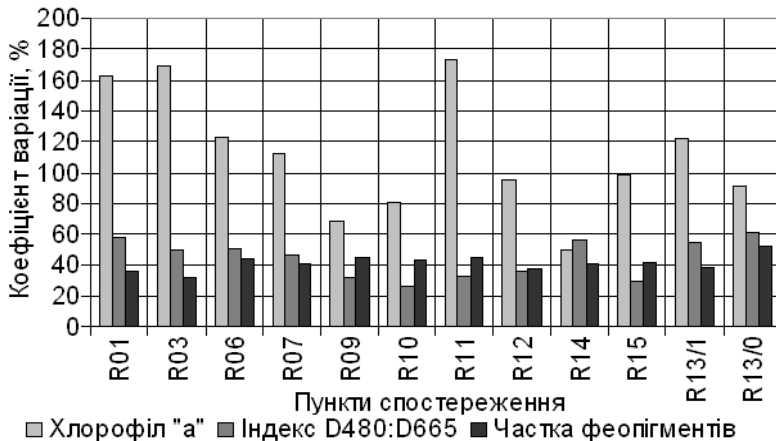


Рисунок 4 – Коефіцієнти варіації вмісту фотосинтетичних пігментів у донних відкладах

Figure 4 – Variation coefficients of the photosynthetic pigments content in the sediments

Привертає до себе увагу високий вміст у пігментному комплексі як донних відкладів, так і фітопланктону дослідженої акваторії, феопігментів та каротиноїдів (табл. 3). Це вказує на несприятливі умови для фотосинтезу альгоугруповань, занижену їх функціональну активність і більш високу швидкість деструкції хлорофілу *a* порівняно з каротиноїдами.

Дані, які наведені у таблиці 3, свідчать про те, що середньобагаторічні концентрації як феопігментів, так і каротиноїдів у різних пунктах дослідженої акваторії достатньо близькі, що вказує на відносну стабільність видового складу альгоценозів, що узгоджується з літературними даними [11, 17]. Слід відзначити, що процент вмісту феопігментів у пігментному фонді донних відкладів відносно незначний для цього компоненту екосистем, а у фітопланктоні, навпаки, високий, що може бути пов'язане зі значною інтенсивністю процесів осадження фітопланктону та надходження пігментів у водне середовище з донних відкладів у зв'язку з придонною турбулентністю.

При достатньо однорідній картині розподілу фотосинтетичних пігментів по акваторії існують деякі відмінності як в абсолютних значеннях вмісту пігментів в окремих пунктах, так і у відносних характеристиках.

Аналізуючи вміст Хл *a* у фітопланктоні пониззя Дунаю за класифікацією, що використовується у *TNMN* (міжнародна програма моніторингу Дунаю), можна вважати, що ці води належать до першого класу [24]. Однак, результати досліджень вмісту Хл *a* в водах пониззя Дунаю (в межах України) протягом майже десяти років, дозволяють стверджувати, що значення  $25 \text{ мкг/дм}^3$  Хл *a* для першого класу у цій класифікації завищено, воно не узгоджується з гідрохімічними показниками трофності вод, а також з іншими біоіндикаційними даними. Не випадково, при аналізі результатів міжнародної експедиції, яка проходила у 2013 р., використані дві класифікації поверхневих вод [18].

У наших дослідженнях для оцінювання трофності вод пониззя Дунаю використовувалися класифікації, які наведено у таблиці 4.

Таблиця 3 – Відносні характеристики пігментного комплексу фітопланктону та донних відкладів пониззя Дунаю

Table 3 – Relative characteristics of the pigment complex of phytoplankton and sediments of the lower reaches of the Danube

Код	Відносні пігментні характеристики							
	фітопланктону				донних відкладів			
	Ф/ Хл+Ф	%	К/Хл (D480 / D665)	%	Ф/ Хл+Ф	%	К/Хл (D480/ D665)	%
R01	0,43	95,5	1,84	100,0	0,52	104,0	1,51	113,5
R03	0,45	100,0	1,68	91,3	0,63	126,0	1,86	139,8
R06	0,37	82,2	1,83	99,5	0,58	116,0	1,14	85,7
R07	0,55	122,2	1,83	99,5	0,53	106,0	1,35	101,5
R09	0,43	95,5	1,77	96,2	0,50	100,0	1,27	95,5
R10	0,41	91,1	1,73	94,0	0,51	102,0	1,19	89,5
R11	0,38	84,4	1,75	95,1	0,53	106,0	1,19	89,5
R12	0,55	122,2	1,93	104,9	0,45	90,0	1,48	111,3
R13/1	0,41	91,1	1,99	108,2	0,51	102,0	1,39	104,5
R13/0	0,32	71,1	1,59	86,4	0,41	82,0	1,25	94,0
R14	0,48	108,7	2,00	108,7	0,38	76,0	1,35	101,5
R15	0,63	140,0	1,78	96,8	0,47	94,0	1,18	88,7
Серед не	0,45	100,0	1,84	100,0	0,50	100,0	1,33	100,0

Примітка: \* – % від середнього по акваторії за період досліджень

Таблиця 4 – Способи оцінювання екологічного стану водних об'єктів за вмістом хлорофілу *a* у фітопланктоні та донних відкладах

Table 4 – Methods of the water bodies ecological state assessing by the chlorophyll *a* content in phytoplankton and sediments

Оцінка	Класи				
	I	II	III	IV	V
За класифікацією [8]	Вміст хлорофілу <i>a</i> у фітопланктоні, мкг/дм <sup>3</sup>				
	<2	2,0–10,0	11,0–50,0	51,0–150,0	>150,0
За класифікацією [23]	Вміст хлорофілу <i>a</i> у донних відкладах, мкг/г				
	<5,0	5,1–10,0	10,1–20,0	20,1–50,0	>50,0
За EQR [26]	Відхилення від еталонних значень				
	1,0–0,83	0,82–0,62	0,61–0,41	0,40–0,20	<0,20

У якості еталонних значень при визначенні *EQR* для вмісту Хл *a* у фітопланктоні використовували значення 6,0 мкг/дм<sup>3</sup>, згідно з роботою [17], а для донних відкладів – 5,0 мкг/г, на основі класифікації [23]. Слід зазначити, що на цей час виконуються роботи щодо гармонізації національних класифікацій трофності поверхневих вод придунайських країн із метою розробки єдиного, узгодженого документу, який дозволив би на єдиній методичній основі оцінювати екологічний статус цієї річки [16]. Значна увага, яка приділяється питанням трофності вод та її оцінювання, пов'язана з тим, що води Дунаю суттєво впливають на трофність північно-західної частини Чорного моря.

Таблиця 5 – Оцінка екологічного стану пониззя Дунаю за вмістом Хл *a* у фітопланктоні та донних відкладах

Table 5 – Assessment of the ecological status of the lower reaches of the Danube for the content of Chl *a* in phytoplankton and sediments

Пункт	Код	Оцінка рівня трофності					
		за Хл <i>a</i> у фітопланктоні			за Хл <i>a</i> у донних відкладах		
		за індексом		за [8]	за індексом		за [23]
		<i>EQR</i>	клас	клас	<i>EQR</i>	клас	клас
Вище м. Рені	R01	0,62	II	II	0,97	I	II
Вище рук. Тульчинський	R03	0,46	III	III	0,56	III	II
Нижче м. Ізмаїл	R06	0,77	II	II	0,93	I	I
Вище м. Кілія	R07	0,73	II	II	0,74	II	II
Нижче м. Кілія	R09	0,82	II	II	0,96	I	II
Вище м. Вілково	R10	0,65	II	II	0,70	II	II
Нижче м. Вілково	R11	0,99	I	II	0,34	IV	III
Вище рук. Бистрий	R12	0,60	III	II	0,99	I	I
Рук. Бистрий	R13/1	0,74	II	II	0,32	IV	III
Рук. Бистрий	R13/0	0,75	II	II	0,68	II	II
Рук. Очаківський	R14	0,90	I	II	0,28	IV	III
Рук. Старостамбульський	R15	0,79	II	II	0,96	I	II
Середнє по акваторії Хл <i>a</i>		0,72	II	II	0,59	III	II

Дані, що наведені у таблиці 5, дозволяють віднести води дослідженої акваторії в цілому до другого-третього класу, тобто до мезо-евтрофних вод, що узгоджується з оцінкою за структурними показниками фітопланктону [1].

У той же час, слід зазначити, що в певні періоди та в окремих пунктах акваторії спостерігається більш високий рівень тропності. Прикладом цього можуть бути пункти R11 і R14 Очаківського рукава (табл. 5).

Оцінки стану досліджених вод, які виконані за допомогою *EQR*, часто більш високі, ніж за класифікаціями. Крім того, вони більш диференційовані за пунктами спостережень. Враховуючи це, дуже актуальним, на нашу думку, є не тільки узгодження класифікацій, а й визначення еталонних значень пігментних показників альгофлори для різних ділянок Дунаю, перш за все для його дельти.

### Висновки

1. Встановлено, що показники пігментного комплексу як фітопланктону, так і донних відкладів достатньо інформативні і добре відображають специфіку процесів, що відбуваються у гідроекосистемі пониззя Дунаю під впливом зовнішніх чинників.

2. За рівнем вмісту фотосинтетичних пігментів альгофлори води пониззя Дунаю можуть бути віднесені до II–III класу, тобто до категорії мезо-евтрофних вод.

3. Вміст хлорофілу *a* у фітопланктоні, і особливо у донних відкладах, змінювався у широких межах, що може пояснюватися з пульсуючим типом стійкості функціонування екосистеми, характерним для екотонів. Відносні показники пігментів меш динамічні, ніж абсолютні, що може вказувати на достатню стабільність видового складу альгоценозів досліджених вод.

4. Класифікації водотоків за показниками пігментного фонду донних відкладів доцільно розробляти з урахуванням типу останніх, як це робиться, наприклад, у Нідерландах при регламентації вмісту важких металів у ґрунтах.

5. Найбільш актуальним питанням при оцінці екологічного стану транскордонних вод, таких як Дунай, є визначення, обґрунтування та узгодження еталонних значень біологічних

показників, у тому числі пігментних характеристик альгогруповань.

### **Література:**

1. Васенко О. Г., Верніченко Г. А., Верниченко-Цветков Д. Ю., Лунгу М. Л. Оцінка рівня трофності вод української частини Дунаю та його дельти. Гідрологія, гідохімія, гідроекологія. 2014. Т.1(32). С. 69–76.

2. Верниченко-Цветков Д. Ю. Фотосинтетические пигменты в донных отложениях Северского Донца (в границах Харьковской области). Питання біоіндикації та екології. Запоріжжя: Прогресс, 2008. Вип. 13. № 1. С. 53–61.

3. Верниченко-Цветков Д. Ю. Методика визначення вмісту пігментів водоростей у донних відкладеннях. Вісник ХСП Екологія, техногенна безпека і соціальний прогрес: наук. зб. ХСП. / Мат. II Міжнарод. науково-практ. конф. «Екологічна та техногенна безпека», Харків, 25–27 квітня 2002 р. Харків. 2002. Вип. 1(2). С. 13–21.

4. ГОСТ 17.1.04.02-90 Вода. Методика спектрофотометрического определения хлорофилла а. М.: Гос. Ком. СССР по охране природы, 1990. 15 с.

5. Иванова А. И. Фитопланктон советского участка Дуная и заливов переднего края его Килийской дельты. Гидробиологические исследования Дуная и придунайских водоёмов: Сб. науч. тр. Киев: Наукова думка, 1987. С. 44–57.

6. Китаев С. П. Экологические основы биопродуктивности озер разных природных зон. М.: Наука, 1984. 207 с.

7. Методи гідроекологічних досліджень поверхневих вод / За ред. В. Д. Романенка. Київ: ЛОГОС, 2006. 408 с.

8. Методика екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями. Проект / А. В. Гриценко, О. Г. Васенко, Г. А. Верніченко та ін. Харків: УкрНДІЕП, 2012. 37 с.

9. Минеева Н. М. Растительные пигменты в воде волжских водохранилищ. М.: Наука, 2004. 156 с.

10. Оксьюк О. П., Жданова Г. А., Гусынская С. Л., Головки Т. В. Оценка состояния водных объектов по

гидробиологическим показателям. 1. Планктон Гидробиол. журн. 1994. Т. 30. № 3. С.26–31.

11. Окснюк О. П., Давыдов О. А., Карпезо Ю. И. Оценка экологического состояния водных объектов по фитопланктону и фитобентосу (на примере украинского участка Дуная). Гидробиол. журн. 2009. Т.45. № 2. С. 3–12.

12. Сигарева Л. Е. Хлорофилл в донных отложениях волжских водоемов. М. : Тов-во науч. изд. КМК, 2012. – 217 с.

13. Чербаджи И. И. Определение фотосинтетических пигментов. Методы химического анализа в гидробиологии. Владивосток, 1979. С. 103–111.

14. Bianchi T. S., Canuel E. *Chemical Biomarkers in Aquatic Ecosystems*. Oxford: Princeton University Press, UK, 2011. 396 p.

15. *Bioindicators & Biomonitors. Principles, concepts, application* /ed. by B. A. Markert, A. M. Breure, H. G. Zeechmeister. Oxford : Elsevier Science Ltd., 2003. 997 p

16. Birk S., Schmedtje U. *Towards harmonisation of water quality classification in the Danube River Basin: Overview of biological assessment methods for running waters. Large Rivers*. 2005. Vol. 16. N. 1–2. P. 171–196.

17. Dokulil M. T., Donabaum U. *Phytoplankton of the Danube River: Composition and Long-Term Dynamics*. Acta zool. bulg. 2014. S. 7. 147–152.

18. *Joint Danube Survey – 3. A Comprehensive Analysis of Danube Water Quality. Final Scientific Report* / Ed. I. Liška, F. Vagner, M. Sengl, K. Deusch, Ja. Slobodnik. Viena: ICPDR, 2015. 369 p.

19. Möller W. A. A., Scharf B. W. *The content of chlorophyll in the sediment of the volcanic maar lakes in the Eifel region (Germany) as an indicator for eutrophication*. Hydrobiologia, 1986. Vol. 143. P. 327–329.

20. *Phytoplankton pigments: Characterization, Chemotaxonomy and Applications in Oceanography* / Edited by S. Roy et al. Cambridge General Academic, UK, 2016. 845 p.

21. Premazzi G., Chiaudani G. *Current approaches to assess water quality in lakes. River Water Quality. Ecological Assessment and Control*. Brussels: Commission of European Communities, 1992. P. 249–308.



22. Reuss N. *Sediment pigments as biomarkers of environmental change. Ph.D. thesis. Roskilde, Denmark: National Environmental Research Institute, 2005.33 p.*

23. Swanson R. L, Potts J. D., Scanes P. R. *Preliminary Ecological Assessment of the Lower to Mid Hunter River Estuary 2015–2016. Sydney: Office of Environment and Heritage, 2017. 47 p.*

24. *Water Quality in the Danube River Basin – 2006 / Ed. I. Liška. ICPDR International Commission for the Protection of the Danube River. TNMN. Yearbook: Vienna, 2006. 39 p.*

25. *WFD CIS Guidance Document No.7 Monitoring under the Water Framework Directive. / Published by the Directorate General Environment of the European Commission, Brussels. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, 2003. 153 p.*

26. *WFD CIS Guidance Document No. 13 Overall Approach to the Classification of Ecological Status and Ecological Potential. / Published by the Directorate General Environment of the European Commission, Brussels. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, 2003. 47 p.*

**PHOTOSYNTHETIC PIGMENTS ALGOFLORA AS  
BIOMARKERS OF THE ECOLOGICAL STATUS OF  
WATER OBJECTS (AT EXAMPLE OF THE DANUBE  
LOWER REACHES)**

**Vasenko A. G., Vernichenko A. A., Vernichenko-Tsvetkov D. Yu.**  
**Ukrainian Research Institute of Environmental Problems**

*vernyczenko@meta.ua*

The article presents the results of studies of the content of photosynthetic pigments in phytoplankton and bottom sediments of the Danube lower reaches, conducted seasonally from 2007 to 2017. The spatial-temporal variability of the absolute and relative characteristics of the pigments of algal flora of the multicomponent and dynamic ecotone «river-sea» was analyzed. It was established that the averaged over time concentration of chlorophyll *a* (Chl *a*) the phytoplankton of the water area averages  $8.39 \pm 0.61 \mu\text{g}/\text{dm}^3$ , and in bottom sediments it is  $8.48 \pm 1.31 \mu\text{g}/\text{g}$ . The variability of plant pigments in the sediment is higher than in phytoplankton. The total coefficient of variation in the content of Chl *a* in

phytoplankton was on average in the water area during the research period of 106.1 %, and in the bottom sediments – 186.4 %. The highest concentrations of plant pigments are found in mules, and the smallest are in washed sands. The average concentration of Chl *a* was during the period of researches in washed sands of 0.16 µg/g, in weakly-soiled sands – 1.85 µg/g, in highly-soiled sands – 4.94 µg/g, in mud clay – 17.98 µg/g. Significant variability in the content of pigments in the bottom sediments due to the fact, that the formation of a pigment fund at the bottom of the water depends on the type of bottom sediments. Besides, the content of photosynthetic pigments in phytoplankton reflects the development of algogroups at the time of research, and the pigment fund of the bottom sediments is the result of processes of formation, deposition, accumulation and destruction of pigments for a certain period of time before the conducted research. There are certain differences in the degree of variability of the investigated pigmentary indices. The most dynamic indicator was the content of Chl *a*, the least variable indicators were relative characteristics, such as, for example, the ratio of the concentration of carotenoids to the content of Chl *a*. On the basis of the analysis of the composition of pigment complexes of phytoplankton and bottom sediments, the conclusion was drawn about the relative stability of the species composition of the algae communities of the explored aquatorium. The high content in the pigment complex of bottom sediments and phytoplankton of the investigated water area of feopigments and carotenoids was noted, indicating unfavorable conditions for photosynthesis of algogroups and about their understated functional activity, which was due to the considerable flow velocity and high turbidity of the water. Assessment of the status of the lower reaches of the Danube, completed on basis on the average concentrations of chlorophyll content in phytoplankton and bottom sediments with the help of environmental classifications and ecological index of water quality (EQR), allows to attribute this water body to II-III class, that is, to meso-eutrophic waters.