УДК 581.526.323:282.243.7

Васенко О.Г., Верніченко Г.А., Верниченко-Цветков Д.Ю.
Український науково-дослідний інститут екологічних проблем

ПОКАЗНИКИ ПІГМЕНТНОГО ФОНДУ ДОННИХ ВІДКЛАДІВ ПОНИЗЗЯ ДУНАЮ (В МЕЖАХ УКРАЇНИ)

***Ключові слова**: фотосинтетичні пігменти; донні відклади; екологічний стан; Дунай.*

Вступ. Дунай належить до річок дельтового типу. У нижній течії річка поділяється на чисельні рукава та протоки. Це дуже складна і динамічна плавнево-літоральна екологічна система. Українська ділянка дельти Дунаю має площу 1240 км^2 (біля 22%), решта належить Румунії [1].

Дельта Дунаю характеризується значним територіально-ландшафтним та біологічним різноманіттям. Враховуючи біосферне значення дельти Дунаю, з 1996 року під керівництвом *ICPDR* (Міжнародній комісії щодо захисту Дунаю), здійснюється міжнародна програма моніторингу якості поверхневих вод басейну (*TNMN*), головною метою якого є отримання екологічної інформації, необхідної для виробки придунайськими країнами узгоджених рішень, спрямованих на досягнення та збереження доброго екологічного статусу цієї річки [2–4]. В наш час інтенсивно ведуться дослідження з аналізу пріоритетності окремих показників функціонування екосистеми Дунаю і уніфікації методів оцінки екологічного статусу річки і окремих її ділянок [5–7]. Актуальність інформації щодо екологічної ситуації в дельті Дунаю зросла в останні роки у зв'язку з відновленням в 2004 році та експлуатацією глибоководного суднового ходу (ГСХ) Дунай-Чорне море [1, 8].

Згідно Водній Рамковій Директиві ЄС (*WFD*) для об'єктивної оцінки «здоров'я» річки необхідний аналіз всіх основних компонентів екосистеми, в тому числі фітопланктону та фітобентосу [9]. Важливим біомаркером розвитку та функціональної активності фітопланктону є показник вмісту хлорофілу *а* в одиниці об'єму води, тому він з 1992 року включений до класифікації вод Дунаю [2]. Однак, не менш інформативними є показники вмісту рослинних пігментів у донних відкладах водних екосистем [10–15]. За їх допомогою визначають біомасу фітобентосу, ступінь евтрофування та ацидофікації поверхневих вод, продуктивність та екологічний стан водних об'єктів, вплив зміни клімату на стійкість водних екосистем та низку інших питань. На жаль, пігментний фонд донних відкладів вивчений переважно для озер, водосховищ та морів. Відомості щодо вмісту рослинних пігментів у донних відкладах водотоків поки що дуже обмежені. Вміст рослинних пігментів у донних відкладах пониззя Дунаю в межах України раніше не досліджувався, хоча вивченню розвитку та видовому складу фітобентосу цієї акваторії присвячено багато праць [6].

Метою цієї роботи є дослідження пігментного фонду донних відкладів пониззя Дунаю, визначення закономірностей просторово-часової мінливості його характеристик та оцінка можливості використання пігментного фонду донних відкладів для біоиндикації екологічного стану гідроекосистеми дельти Дунаю.

Матеріали та методи досліджень. Аналіз вмісту фотосинтетичних пігментів у фітопланктоні та у донних відкладах пониззя Дунаю проводився в 2007, 2008, 2010 та 2011 роках посезонно: навесні (квітень-травень), влітку (серпень-початок вересня) та восени (жовтень-листопад). Розташування пунктів відбору проб вказано на ріс 1 та в табл. 1.

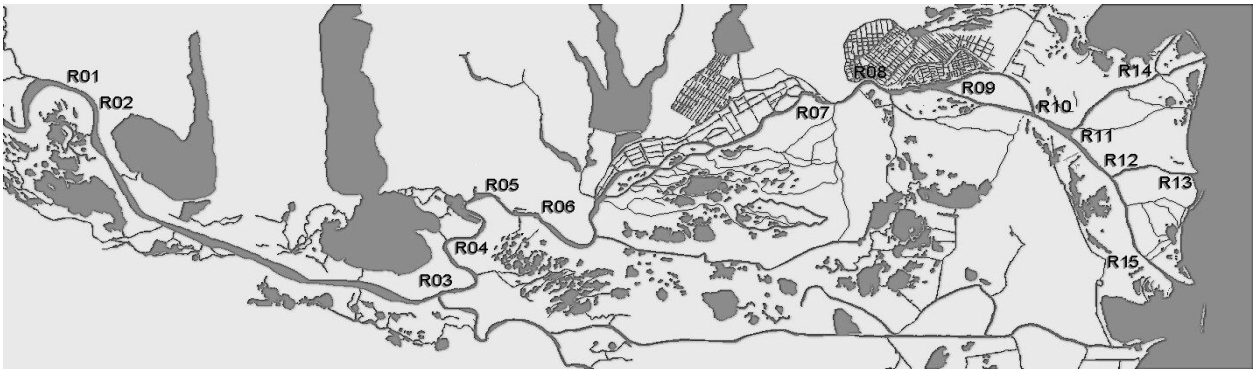

Рис. 1. **Схема розташування відбору проб води та донних відкладів**

Таблиця 1. **Пункти відбору проб води та донних відкладів**

Код	Назва, локалізація	Відстань до морського краю дельти
R01	Дунай, 2 км вище м. Рені	131-й км (71 миля)
R03	Дунай, Ізмаільский Чатал, вище поділу на Тульчинський та Ізмаільский 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 Кілійский, 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

Відбір проб води, фітопланктону та донних відкладів здійснювався згідно з існуючими методичними документами України [15] та з урахуванням рекомендаційних матеріалів ЄС [16]. Вміст рослинних пігментів фітопланктону визначали стандартним екстрактним спектрофотометричним методом [17], а у донних відкладах (шар 0 – 5 см) – за модифікованим методом Штойбінга [18]. Розрахунки вмісту пігментів у фітопланктоні і донних відкладах виконували за стандартним методом *UNESCO* [19] і за методом Лоренцена [19]. Відношення хлорофілу *a* та каротиноїдів оцінювали за індексом D_{480}/D_{665}. Оцінка екологічного стану пониззя Дунаю за вмістом пігментів у донних відкладах виконувалася на основі розрахунку коефіцієнта екологічної якості (*EQR*) [20]. Статистична обробка результатів досліджень проводилася за допомогою стандартних програм.

Виклад основного матеріалу. Встановлено, що кількісні показники пігментного фонду донних відкладів пониззя Дунаю коливаються в широких межах.

Так, вміст хлорофілу *а* змінювався від 0,081 до 79,070 мкг/г сухого ґрунту, складаючи у період досліджень в середньому по акваторії 6,251 мкг/г (табл.2). Як видно з даних, що наведено у табл. 2, найбільші значення цього показника спостерігалися в рукаві Бистрий (пункті R13/1), а найменші – у районі м. Кілія (пункти R07 і R09). Ці пункти суттєво відрізняються як за гідрологічними умовами, так і за типом ґрунтів.

Таблиця 2. **Вміст фотосинтетичних пігментів у донних відкладах**

Пункт (код)	Середньобагаторічний вміст хлорофілу в донних відкладах, мкг/г				Каротиноїди/хлорофіл (індекс D480/D665)	
	Хлорофіл *а* (метод UNESCO)		Хлорофіл з феопігментами (метод Лоренцена)			
	$\bar{X}$, мкг/г	% від середнього	$\bar{X}$, мкг/г	% від середнього	$\bar{X}$, од.$^{-1}$	% від середнього
R01	4,486±2,963	71,8	17,326±8,028	122,7	1,723±0,367	105,2
R03	9,374±3,844	150,0	18,711±5,119	132,5	1,748±0,331	106,8
R06	5,255±2,357	84,1	13,715±1,478	97,1	1,429±0,297	87,3
R07	1,124±0,305	17,8	1,947±0,637	13,8	1,823±0,277	111,4
R09	2,742±1,451	43,9	5,949±1,567	42,1	1,736±0,245	106,0
R10	4,975±1,184	79,6	9,950±2,133	70,5	1,257±0,144	76,8
R11	2,361±0,817	37,8	5,490±1,410	38,9	1,458±0,148	89,1
R12	3,745±1,782	59,9	13,302±1,974	94,2	1,682±0,244	102,8
R13/1	18,367±7,000	293,8	30,065±10,95	212,9	1,494±0,311	91,2
R13/0	5,875±3,795	94,0	21,508±7,267	152,3	1,905±0,432	116,4
R14	7,579±3,256	121,2	14,410±2,180	102,0	1,933±0,564	118,1
R15	3,120±1,279	49,9	8,298±1,575	58,8	1,458±0,133	89,0
Середнє по акваторії	*6,251*	*100,0*	*14,122*	*100,0*	*1,637*	*100,0*

Відносно невисокі значення вмісту хлорофілу *а* в донних відкладах досліджених водних об’єктів обумовлені значною швидкістю течії, високою каламутністю та турбулентністю водних мас, що негативно впливає на розвиток фітопланктону і фітобентосу [6, 21]. Вміст хлорофілу в сумі з феопігментами змінюються у просторі подібно до вмісту «чистого» хлорофілу. При цьому середній рівень цього показника більш ніж у два рази вищий за рівень вмісту хлорофілу *а*, що вказує на незадовільні умови для розвитку альгоугруповань. Вміст продукту трансформації хлорофілу а – феофітину найбільшим був у рукаві Бистрий (в середньому 25,787 мкг/г), однак його частка у сумі з хлорофілом становила у середньому 56%; в той же час, у донних відкладах поблизу м. Кілії, при найменший концентрації феофітину (1,296 мкг/г), його частка у сумі складала 71,5%.

Спостерігається різниця у середній концентрації пігментів у донних відкладах головного русла (Кілійський рукав) та рукавів: Старостамбульского, Бистрого та Очаківського. Так, середня концентрація хлорофілу *а* у руслі становила 4,331 мкг/г, а в рукавах – 7,737 мкг/г; сумарна концентрація хлорофілу *а* та феопігментів, відповідно, 14,727 мкг/г і 17,517мкг/г. Це може бути пов’язано зі зниженням швидкості течії у рукавах.

Встановлено, що існують певні відмінності у ступені мінливості досліджених показників пігментного фонду донних відкладів (табл. 3). Найбільш динамічним виявився показник вмісту в донних відкладах хлорофілу *а.* Так, у квітні 2007 року в пункті R01 концентрація хлорофілу *а* в донних відкладах складала –2,647 мкг/г, в пункті R03 – 8,646 мкг/г. В квітні 2010 року, після високої повені, вміст хлорофілу *а* в

донних відкладав цих пунктів становив, відповідно, 0,256 мкг/г та 0,953 мкг/г. Найменш суттєво змінюються значення відносних характеристик, таких, наприклад, як відношення концентрації каротиноїдів до вмісту хлорофілу *а* або частка феофітину у сумі з хлорофілом. Так, середнє значення коефіцієнта варіації вмісту хлорофілу *а* в донних відкладах дослідженої акваторії складало 132,6 %; концентрації феопігментів – 80,6 %, а співвідношення концентрацій каротиноїдів і хлорофілу – 53,1 %.

Таблиця 3. **Мінливість вмісту рослинних пігментів у донних відкладах**

Пункт	Код	Діапазон змін		
		Хлорофіл а, мкг/г	Хлорофіл з феопігментами, мкг/г	Каротиноїди/ хлорофіл (індекс D480/D665)
		*X*min – *X*max	*X*min – *X*max	*X*min – *X*max
Вище м. Рені	R01	0,081–41,971	1,132–60,708	1,000–4,125
Вище рук. Тульчинський	R03	0,158–49,849	0,515-61,592	0,880–3,750
Нижче м. Ізмаїл	R06	0,230–23,204	0,615–35,092	0,640–3,400
Вище м. Кілія	R07	0,738–2,818	1,081–4,014	1,100–3,364
Нижче м. Кілія	R09	0,307–8,005	1,365–10,533	1,161–2,500
Вище м. Вілково	R10	0,510–10,888	0,823–20,175	0,750–2,000
Нижче м. Вілково	R11	0,469–7,223	0,823–10,291	1,008–2,000
Вище рук. Бистрий	R12	0,136–16,510	0,926–19,820	0,917–2,800
Рук. Бистрий	R13/1	0,208–79,070	2,751–113,50	0,971–3,200
Рук. Бистрий	R13/0	0,520–15,660	1,133–21,508	0,949–1,567
Рук. Очаківський	R14	0,213–12,566	0,271–15,951	1,027–3,625
Рук. Старостамбульский	R15	0,665–8,342	2,161–10,806	0,918–1,958

Слід відзначити, що коефіцієнт варіації вмісту хлорофілу *а* в донних відкладах досліджених водних об’єктів був вищим, ніж у фітопланктоні в цих же пунктах (рис.2), тобто просторова варіабельність вмісту цього пігменту вища в донних відкладах, ніж у фітопланктоні [21]. Як свідчать літературні дані [11, 13], концентрація рослинних пігментів в донних відкладах суттєво змінюється в залежності від їх діагностичних ознак: гранулометричного складу, вмісту органічної речовини тощо. Зокрема, в донних відкладах пониззя Дунаю середньобагаторічні концентрації хлорофілу *а* становили в період досліджень: у промитих пісках 0,367±0,134 мкг/г, у слабкозамулених пісках – 0,510±0,203 мкг/г, у середньозамулених пісках – 1,802±0,549 мкг/г, у сильнозамулених пісках – 5,259±0,896 мкг/г, у мулах – 14,490±3,066 мкг/г. Зростання вмісту пігментів у донних відкладах по мірі замулення пісків обумовлено, перш за все, посиленням адсорбційної здатності відкладів і локальними умовами седиментації.

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 року концентрація хлорофілу *а* у донних відкладах (мули) правого берега складала 9,874 мкг/г, у донних відкладах (слабозамулені піски) на фарватері річки – 0,552 мкг/г; у донних відкладах (слабозамулені піски) лівого берега – 0,671 мкг/г. Враховуючи це, порівняння показників пігментного фонду слід виконувати для однотипних донних відкладів. Наприклад, донні відклади вище м. Вілково та нижче міста представлені слабозамуленими пісками, однак вміст хлорофілу *а* у цих пунктах відрізняється майже у два рази (табл.2), що може свідчити про антропогенний вплив.

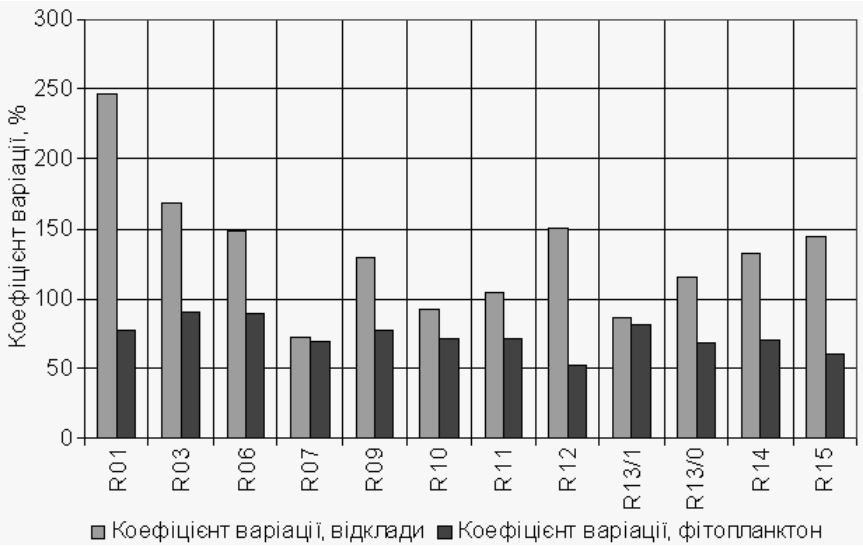

Рис. 2. **Коефіцієнти варіації вмісту хлорофілу *a* у фітопланктоні та донних відкладах**

Встановлено, що концентрація рослинних пігментів у донних відкладах пониззя Дунаю змінюється не тільки у просторі, але й у часі, що є результатом зміни гідрологічних і гідрометеорологічних умов та інтенсивності продукційних процесів. Незважаючи на мінливість показників вмісту пігментів у донних відкладах конкретних пунктів у різні періоди, аналіз результатів багаторічних досліджень дозволяє виявити певні закономірності в їх динаміці в залежності від року та вегетаційного сезону. Як правило, найбільш високі концентрації пігментів у донних відкладах спостерігаються у серпні-вересні, а найменші – у квітні-травні. Наприклад, концентрація хлорофілу *a* в донних відкладах (замулені піски) пункту R03 у квітні-травні становила в середньому в період досліджень 1,191 мкг/г, у вересні-серпні – 22,309 мкг/г, у жовтні-грудні – 8,170 мкг/г; сумарний вміст хлорофілу *a* з феофітином, відповідно, 2,881 мкг/г; 37,514 мкг/г і 10,460 мкг/г. Встановлено, що вміст пігментів у донних відкладах пониззя Дунаю залежить від водності року, у маловодні роки (або періоди) їх концентрація зростає. Наприклад, у середньому за водністю 2008 році вміст хлорофілу *a* становив у донних відкладах дослідженої акваторії в середньому 8,357 мкг/г, а в багатоводному 2010 році – 4,432 мкг/г.

Аналізуючи склад пігментного фонду пониззя Дунаю слід відзначити значний вміст феопігментів порівняно з концентрацією хлорофілу *a* (табл. 4), що не характерно для активно функціонуючих водоростей. Високий процент вмісту феопігментів у донних відкладах вказує на те, що основним джерелом їх пігментного фонду є осілий фітопланктон. Це узгоджується з літературними даними відносно невисоких значень біомаси фітобентосу пониззя Дунаю та значною часткою у донних альгоценозах алохтонних форм, які осаджуються з фітопланктону [6].

Привертає до себе увагу також високий вміст у пігментному комплексі донних відкладів дослідженої акваторії каротиноїдів. Це вказує на несприятливі умови для фотосинтезу альгоугруповань і більш високу швидкість деструкції хлорофілу *a* порівняно з каротиноїдами. Треба також відзначити, що вміст хлорофілу *a* у всіх пунктах перевищував концентрацію хлорофілів *b* і *c*, що характерно і для фітопланктону [21]. Встановлено, що відношення концентрацій Хл. *c* / Хл. *a* у донних відкладах багатьох пунктів дослідженої акваторії досягає значних величин (табл.4). Ймовірно, це пов’язано з високою концентрацією діатомових водоростей,

для яких є типовим високий вміст хлорофілу *c* у пігментному апараті клітин, а також із функціональним станом осілого фітопланктону.

При значній варіабельності абсолютних значень вмісту окремих пігментів у донних відкладах різних досліджених пунктів, відносні характеристики пігментного фонду, як видно з даних табл. 4, достатньо близькі. Це вказує на близькість видового складу як фітопланктону, так і фітобентосу цієї акваторії, що узгоджується з літературними даними [6, 22].

Таблиця 4. **Характеристики складу пігментного фонду донних відкладів**

Пункт (код)	Середньобагаторічні рівні співвідношень вмісту пігментів у донних відкладах			
	Хлорофіл *b* / Хлорофіл *a*	Хлорофіл *c* / Хлорофіл *a*	Феопігменти / Хлорофіл з феопігментами	Каротиноїди / Хлорофіл (D480/D665)
R01	0,485	0,703	0,703	1,723
R03	0,400	0,619	0,647	1,748
R06	0,397	0,556	0,773	1,429
R07	0,612	0,857	0,715	1,823
R09	0,662	0,938	0,691	1,736
R10	0,383	0,391	0,666	1,257
R11	0,407	0,600	0,682	1,458
R12	0,603	0,988	0,511	1,682
R13/1	0,241	0,407	0,589	1,494
R13/0	0,614	0,839	0,535	1,905
R14	0,326	0,539	0,441	1,933
R15	0,506	0,665	0,543	1,458
Середнє по акваторії	*0,431*	*0,618*	*0,634*	*1,572*

Серед досліджених пунктів за співвідношенням вмісту хлорофілів у донних відкладах дещо виділяються пункти, які розташовані в районі м. Кілії та у рукаві Бистрий; а за відносним вмістом феопігментів у сумі з хлорофілом *a* – пункт у рукаві Очаківський. Слід відзначити, що відношення концентрації феопігментів до сумарної їх концентрації з хлорофілом у донних відкладах Кілійського рукава (основного русла) декілька вищі, ніж в інших (менших) рукавах, що може бути пов'язано зі зміною швидкості течії та більш сприятливими умовами для розвитку альгофлори в останніх. Що стосується співвідношення вмісту каротиноїдів та хлорофілу, то найменше його значення спостерігалося в донних відкладах у м. Вілково, а найбільше – в Очаківському рукаві. У цілому за характеристиками складу пігментного фонду можливо виділити район поблизу м. Кілії – внутрішньої дельти Кілійського рукава, у якому і вміст пігментів був найменший, а також пункт у рукаві Очаківський, донні відклади якого за літературними даними [23] характеризуються достатньо високими концентраціями забруднюючих речовин. У рукаві Бистрий (R13/1), незважаючи на високий вміст пігментів у донних відкладах, склад їх пігментного фонду суттєво не відрізняється (за винятком співвідношення вмісту хлорофілів) від середніх значень для дослідженої акваторії. Достатньо близькі характеристики як вмісту пігментів у донних відкладах пониззя Дунаю, так і їх складу, вказують на відсутність суттєвих відмінностей у екологічному стану цієї екосистеми. Про це свідчать також літературні дані щодо рівня забруднення донних відкладів дельти Дунаю токсичними речовинами [23], а також результати біоіндикації та біотестування [5, 22, 23].

Була виконана оцінка екологічного стану пониззя Дунаю за вмістом пігментів у донних відкладах на основі розрахунку коефіцієнта екологічної якості (*EQR*). Через відсутність ретроспективних даних щодо пігментного фонду досліджених водних об'єктів та неможливості встановлення еталонних значень, у якості основи була використана класифікація поверхневих вод за вмістом хлорофілу *a* у донних відкладах, що наведена у роботі [24]. Згідно вказаній класифікації прийняті наступні градації екологічного стану поверхневих вод залежно від вмісту хлорофілу *a* в донних відкладах (табл. 5):

Таблиця 5. **Способи оцінювання екологічного стану водних об'єктів за вмістом хлорофілу *a* у донних відкладах**

Оцінка	Класи				
	I	II	III	IV	V
За класифікацією [24]	Вміст хлорофілу *a*, мкг/г				
	<5,0	5,1–10,0	10,1–20,0	20,1–50,0	>50,0
За EQR [25]	Відхилення від еталонних значень				
	1,0–0,83	0,82–0,62	0,61–0,41	0,40–0,20	<0,20

Враховуючи, що усереднена концентрація вмісту хлорофілу *a* у донних відкладах дослідженої акваторії становить 6,251 мкг/г, води пониззя Дунаю можуть бути віднесені за [20, 24] переважно до другого класу, тобто до вод, екологічний стан яких може бути охарактеризований як добрий, хоча в окремих пунктах та у певні періоди часу він буває суттєво порушеним. Особливо значні зміни спостерігаються при аварійному надходженні до вод Дунаю високотоксичних речовин, як це мало місце у 2000 році через аварію на одному з підприємств Румунії [26]. Оцінка екологічного стану досліджених вод в окремих пунктах з використанням *EQR* наведена у табл. 6.

Таблиця 6. **Оцінка екологічного стану пониззя Дунаю за вмістом хлорофілу *a* в донних відкладах**

Пункт	Код	Оцінка екологічного стану		
		EQR	Клас	Характеристика
Вище м. Рені	R01	0,895	I	Відмінний
Вище рук. Тульчинський	R03	0,534	III	Задовільний
Нижче м. Ізмаїл	R06	0,953	I	Відмінний
Вище м. Кілія	R07	0,224	IV	посередній
Нижче м. Кілія	R09	0,547	III	задовільний
Вище м. Вілково	R10	0,993	I	Відмінний
Нижче м. Вілково	R11	0,472	III	задовільний
Вище рук. Бистрий	R12	0,748	II	Добрий
Рук. Бистрий	R13/1	0,272	IV	посередній
Рук. Бистрий	R13/0	0,853	I	Відмінний
Рук. Очаківський	R14	0,661	II	Добрий
Рук. Старостамбульский	R15	0,622	II	Добрий

За літературними даними [6] таксономічний і еколого-морфологічний склад мікрофітобентосу пониззя Дунаю в порівнянні з 1958 роком не зазнав суттєвих змін. Біомаса водоростей здебільшого також реєструється на рівні 1958 року. Таким чином, за показниками фітобентосу пониззя Дунаю відповідають характеристикам другого класу, наведеним у *WFD* [9]. Ці спостереження були підтверджені в процесі

проведення міжнародної експедиції 2007 року [22]. Згідно літературним даним [23], за сапробіологічною оцінкою с використанням організмів фітобентосу води дельти Дунаю належать до β-мезосапробної зони, тобто характеризуються як чисті або слабко забруднені. Слід також відзначити, що результати біотестування токсичності донних відкладів вказаної акваторії з використанням у якості біотестів *Chironomus riparius Meigen* та *Daphnia magna Straus* свідчать про відсутність чітко вираженого токсичного ефекту [23].

Узгодженість альгологічних, токсикологічних та біохімічних даних дозволяє стверджувати, що усереднені показники пігментного фонду донних відкладів добре відображають екологічний стан досліджених вод. В той же час, значення екологічного коефіцієнту якості, розрахованого за показниками вмісту рослинних пігментів у донних відкладах конкретних пунктів, дають змогу виявити певні відмінності в екологічній ситуації, яка складається в окремих ділянках акваторії.

Висновки. Дослідження пігментного фонду донних відкладів пониззя Дунаю, що були виконані посезонно на протязі 2007-2011 років, дозволяють зробити наступні висновки:

1. Вміст та склад рослинних пігментів донних відкладів відображає взаємозв'язок процесів утворення та деструкції органічної речовини у водній екосистемі. Існує значна варіабельність показників пігментного фонду донних відкладів дослідженої акваторії як у просторі, так і у часі. Коефіцієнт варіації вмісту хлорофілу *а* становив 132,6 %; концентрації феопігментів – 80,6 %, а співвідношення концентрацій каротиноїдів і хлорофілу – 53,1 %.

2. З огляду на суттєву мінливість вмісту рослинних пігментів у донних відкладах, найбільш об'єктивними даними, які дозволяють виявити певні закономірності у формуванні пігментного фонду поверхневих вод, слід вважати результати багаторічних досліджень.

3. Встановлено, що визначаючими чинниками формування пігментного фонду донних відкладів пониззя Дунаю є тип відкладів, гідрологічний режим, гідрометеорологічні умови та інтенсивність продукційних процесів. Значна частка пігментного фонду донних відкладів цієї акваторії пов'язана з надходженням осілого фітопланктону. Характерним є високий вміст у донних відкладах феопігментів та каротиноїдів, що вказує на несприятливі умови для розвитку альгоугруповань.

4. Аналіз складу пігментного фонду донних відкладів пониззя Дунаю свідчить про його певну однотипність, що свідчить про відсутність суттєвих розбіжностей у екологічному стані окремих ділянок акваторії.

5. Результати досліджень пігментного фонду донних відкладів пониззя Дунаю свідчать про переважно добрий екологічний статус екосистеми, що узгоджується з матеріалами біоіндикації, виконаної за допомогою інших біологічних показників.

Список літератури

1. Берлинский Н.А. Динамика техногенного воздействия на природные комплексы устьевой области Дуная / Н.А. Берлинский.– Одесса: Астропринт, 2012. – 252 с. **2**. 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. **3**. Романенко В.Д. Концептуальные основы мониторинга биоразнообразия и биоресурсов водных объектов нижнего Дуная / В.Д. Романенко, С.А. Афанасьев, А.В. Ляшенко. А.Г. Васенко // Гидробиол. журн. – 2012. – Т.48.– №1. – С. 3–15. **4**. Developments in water quality monitoring and management in large river catchments using the Danube River as an example / Chapman D.V. et al. // Environmental science and Police. – 2016. – 64. – P. 141–154. **5**. Ляшенко А.В. Биоиндикация качества вод Килийской дельты Дуная по организмам макрофауны водных беспозвоночных / А.В. Ляшенко, Е.Е. Зорина-Сахарова // Гидробиол. журн. – 2012. – Т.48.– №4. – С. 45–66. **6**. Оксиюк О.П. Оценка экологического состояния водных объектов по

фитопланктону и фитобентосу (на примере украинского участка Дуная) / О.П. Оксиюк, О.А. Давыдов, Ю.И. Карпезо // Гидробиол. журн. – 2009. – Т.45.– №2. – С. 3–12. **7**. The Ecological Status of European Rivers: Evaluation and Intercalibration of Assessment Methods / Edited by M.T. Furse et al. – Netherlands: Springer Science & Business Media, 2009. – 555 p. **8**. Гриценко А.В. Місце екологічного моніторингу у вирішенні проблем розвитку Придунав'я /А.В. Гриценко, О.Г. Васенко // Проблеми охорони навколишнього природного середовища та екологічної безпеки. – 2015. – Вип. 37. – С. 3–18. **9**. Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy // Official Journal of the European Communities, 22.12 2000. – L 327**/**1. – 118 p. **10**. Reuss N. Sediment pigments as biomarkers of environmental change / Nina Reuss. Ph.D. thesis. – Roskilde, Denmark: National Environmental Research Institute, 2005. – 33 p. **11**. Сигарева Л.Е. Хлорофилл в донных отложениях волжских водоемов. / Л.Е Сигарева. – М.: Тов-во науч. изд. КМК, 2012. – 217 с. **12**. Верниченко-Цветков Д.Ю. Фотосинтетические пигменты в донных отложениях Северского Донца (в границах Харьковской области) / Д.Ю. Верниченко-Цветков // Питання біоіндикації та екології. — Запоріжжя: Просвіта. – 2008. – Вип. 13. – №1. – С. 53–61. **13**. Анцупова Л.В. Пигменты донных отложений северо-западной части Черного моря /Л.В. Анцупова // Экологические проблемы Черного моря: Сб. науч. ст.– Одесса: ОЦНТЭИ. – 1999.– С. 54–57. **14**. Levinton J. S. Use of photosynthetic pigments in sediments as a tracer for sources and fates of macrophyte organic matter / Jeffrey S. Levinton, Michael McCartney. // Mar. Ecol. Prog. Ser. – 1991. – Vol. 78. – P. 87–96. **15**. Методи гідроекологічних досліджень поверхневих вод / За ред. В.Д. Романенка. – Київ: ЛОГОС, 2006. – 408 с. **16**. 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. **17**. ГОСТ 17.1.04.02-90 Вода. Методика спектрофотометрического определения хлорофилла *а* – М.: Гос. Ком. СССР по охране природы, 1990. – 15 с. **18**. Верниченко-Цветков Д.Ю. Методика визначення вмісту пігментів водоростей у донних відкладеннях / Д.Ю. Верниченко-Цветков // 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. **19**. Чербаджи И.И. Определение фотосинтетических пигментов / И.И. Чербаджи // Методы химического анализа в гидробиологии. – Владивосток, 1979. – С. 103–111. **20**. 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. **21**. Васенко А.Г Анализ изменчивости структурных и функциональных показателей фитопланктона низовий Дуная и его дельты в пределах Украины / А. Г. Васенко, А. А. Верниченко, Д. Ю. Верниченко-Цветков и др. // Вісник Черкаського університету. Серія: Біологічні науки. – 2015. – №19. – С. 35–48. **22**. Joint Danube Survey – 2. Final Scientific Report / Ed. I. Liška, F. Vagner, Ja. Slobodnik. Viena: ICPDR – International Commission for the Protection of the Danube River, 2008. – 242 p. **23**. Комплексная характеристика донных отложений разнотипных водных объектов авандельты Килийского рукава Дуная / В.Д Романенко, А.В. Ляшенко, С.А. Афанасьев и др. // Гидробиол. журн. – 2011. – Т.47.– №3. – С. 3–20. **24**. Swanson R. L. Preliminary Ecological Assessment of the Lower to Mid Hunter River Estuary 2015–16 / Swanson RL, Potts JD & Scanes P.R. – Sydney: Office of Environment and Heritage, 2017. – 47 p. **25**. European Communities WFD CIS Common Implementation Strategy for Water Framework Directive (2000/60/EC) River and Lakes − Typology, reference condition and classifications systems /Guidance document No. 10 Produced by Working group 2.3 REFCOND. − Luxembourg: Office for official publications of the EC, 2003. − 87 p. **26**. Килийская часть дельты Дуная весной 2000 г.: состояние экосистем и последствия техногенных катастроф в бассейне / под ред. Б.Г. Александрова, НАН У, Одесский филиал ИБЮМ. – Одесса. – 128 с.

References

1. Berlinskij N.A. Dinamika tehnogennogo vozdejstviya na prirodnye kompleksy ust'evoj oblasti Dunaya / N.A. Berlinskij.– Odessa: Astroprint, 2012. – 252 s. **2.** 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. **3.** Romanenko V.D. Konceptualnye osnovy monitoringa bioraznoobraziya i bioresursov vodnyh obektov nizhnego Dunaya / V.D. Romanenko, S.A. Afanasev, A.V. Lyashenko. A.G. Vasenko // Gidrobiol. zhurn. – 2012. – T.48.– №1. – S. 3–15. **4.** Developments in water quality monitoring and management in large river catchments using the Danube River as an example / Chapman D.V. et al. // Environmental science and Police. – 2016. – 64. – P. 141–154. **5**. Liashenko A.V. Bioindikaciia kachestva vod Kiliiskoi delty Dunaia po organizmam makrofauny vodnyh bespozvonochnyh / A.V. Liashenko, E.E. Zorina-Sakharova // Gidrobiol. zhurn. – 2012. – T.48.– №4. – S. 45–66. **6.** Oksiyuk O.P. Ocenka ekologicheskogo sostoyaniya vodnyh obiektov po fitoplanktonu i fitobentosu (na primere ukrainskogo uchastka Dunaya) / O.P. Oksiyuk, O.A. Davydov, Yu.I. Karpezo // Gidrobiol. zhurn. – 2009. – T.45.– №2. – S. 3–12. **7.** The Ecological Status of European Rivers: Evaluation and Intercalibration of Assessment Methods / Edited by M.T. Furse et al. – Netherlands: Springer Science & Business Media, 2009. – 555 p. **8.** Hrytsenko A.V. Mistse ekolohitsnoho monitorinhu u vyrishenni problem rozvytku Prydunavia /A.V. Hrytsenko, O.G. Vasenko // Problemy okhorony navkolyshnoho prirodnogo seredovisha ta ekologichnoyi bezpeki. – 2015. – Vip. 37. – S. 3–18. **9.** Hrytsenko A.V. Mistse ekolohichnoho monitoryngu u vyrishenni problem rozvytku Pridunavia /A.V. Hrytsenko, O.G. Vasenko // Problemy okhorony navkolyshnogo pryrodnoho seredovyshcha ta ekolohichnoi bezpeky. – 2015. – Vyp. 37. – S. 3–18. **10.** Reuss N. Sediment pigments as biomarkers of environmental change / Nina Reuss. Ph.D. thesis. – Roskilde, Denmark: National Environmental Research Institute, 2005. – 33 p. **11**. Sigareva L.E. Hlorofill v donnyh otlozheniyah volzhskih vodoemov. / L.E Sigareva. – M.: Tov-vo nauch. izd. KMK, 2012. – 217 s. **12.** Vernichenko-Cvetkov D.Yu. Fotosinteticheskie pigmenty v donnyh otlozheniyah Severskogo Donca (v granicah Harkovskoj oblasti) / D.Yu. Vernichenko-Cvetkov // Pitannya bioindikaciyi ta ekologiyi. — Zaporizhzhya: Prosvita. – 2008. – Vip. 13. – №1. – S. 53–61. **13.** Ancupova L.V. Pigmenty donnyh otlozhenij severo-zapadnoj chasti Chernogo morya /L.V. Ancupova // Ekologicheskie problemy Chernogo morya: Sb. nauch. st.– Odessa: OCNTEI. – 1999.– S. 54–57. **14.** Levinton J. S. Use of photosynthetic pigments in sediments as a tracer for sources and fates of macrophyte organic matter / Jeffrey S. Levinton, Michael McCartney. // Mar. Ecol. Prog. Ser. – 1991. – Vol. 78. – P. 87–96. **15.** Metody hidroekolohichnykh doslidzhen poverkhnevykh vod / Za red. V.D. Romanenka. – Kyiv: LOHOS, 2006. – 408 s. **16.** 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. 17. GOST **17.**1.04.02-90 Voda. Metodika spektrofotometricheskogo opredeleniya hlorofilla a – M.: Gos. Kom. SSSR po ohrane prirody, 1990. – 15 s. **18.** Vernychenko-Tsvetkov D.Yu. Metodyka vyznachennia vmistu pihmentiv vodorostej u donnykh vidkladenniakh / D.Yu. Vernychenko-Tsvetkov // Visnyk KhSP Ekolohiia, tekhnohenna bezpeka i sotsialnyi prohres: nauk. zb. KhSP. / Mat. II Mizhnarod. naukovo-prakt. konf. «Ekolohichna ta tekhnohenna bezpeka», Kharkiv, 25-27 kvitnia 2002 r.– Kharkiv. – 2002. – Vyp. 1(2). – S. 13–21. **19.** Cherbadzhi I.I. Opredelenie fotosinteticheskih pigmentov / I.I. Cherbadzhi // Metody himicheskogo analiza v gidrobiologii. – Vladivostok, 1979. – S. 103–111. **20.** 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**. 21.** Vasenko A.G Analiz izmenchivosti strukturnyh i funkcionalnyh pokazatelej fitoplanktona nizovij Dunaya i ego delty v predelah Ukrainy / A. G. Vasenko, A. A. Vernichenko, D. Yu. Vernichenko-Cvetkov i dr. // Visnyk Cherkas'koho universytetu. Seriia: Biolohichni nauky. – 2015. – №19. – S. 35–48**. 22.** Joint Danube Survey – 2. Final Scientific Report / Ed. I. Liška, F. Vagner, Ja. Slobodnik. Viena: ICPDR – International Commission for the Protection of the Danube River, 2008. – 242 p. **23.** Kompleksnaya harakteristika donnyh otlozhenij raznotipnyh vodnyh obektov avandelty Kilijskogo rukava Dunaya / V.D Romanenko, A.V. Lyashenko, S.A. Afanasev i dr. // Gidrobiol. zhurn. – 2011. – T.47.– №3. – S. 3–20. **24.** Swanson R. L. Preliminary Ecological Assessment of the Lower to Mid Hunter River Estuary 2015–16 / Swanson RL, Potts JD & Scanes P.R. – Sydney: Office of Environment and Heritage, 2017. – 47 p. **25.** European Communities WFD CIS Common Implementation Strategy for Water Framework Directive (2000/60/EC) River and Lakes − Typology, reference condition and classifications systems /Guidance document No.

10 Produced by Working group 2.3 REFCOND. − Luxembourg: Office for official publications of the EC, 2003. − 87p. **26.** Kilijskaya chast delty Dunaya vesnoj 2000 g.: sostoyanie ekosistem i posledstviya tehnogennyh katastrof v bassejne / pod red. B.G. Aleksandrova, NAN U, Odesskij filial IBYuM. – Odessa. – 128 s.

Показники пігментного фонду донних відкладів пониззя Дунаю (в межах України)

Васенко О.Г.,Верніченко Г.А., Верниченко-Цветков Д.Ю.

Досліджено просторово-часову мінливість показників фотосинтетичних пігментів у донних відкладах пониззя Дунаю. Виявлені основні чинники, що впливають на формування пігментного фонду донних відкладів. Встановлена відсутність суттєвих відмінностей у екологічному стані різних ділянок дослідженої акваторії.

***Ключові слова**: фотосинтетичні пігменти; донні відклади; екологічний стан; Дунай.*

Показатели пигментного фонда донных отложений низовий Дуная (в границах Украины)

Васенко А.Г., Верниченко А.А., Верниченко-Цветков Д.Ю.

Исследована пространственно-временная изменчивость показателей фотосинтетических пигментов в донных отложениях низовий Дуная. Выявлены основные факторы, которые влияют на формирование пигментного фонда донных отложений. Установлено отсутствие существенных различий в экологическом состоянии разных участков исследованной акватории.

***Ключевые слова**: фотосинтетические пигменты; донные отложения; экологическое состояние; Дунай.*

Indicators of the sediments pigment fund of lower reaches of Danube River (in the borders Ukraine)

Vasenko O.G., Vernichenko G.A., Vernychenko-Tsvetkov D.Yu.

The spatial and temporal variability of characteristics of the photosyntetic pigments, which contain in sediments in lower reaches of Danube River, is investigated. The main factors, which suggests on the sediments pigment fund formation is described. It was found, that in investigated water area the average concentration of the chlorophyll a in sediments (measured using the UNESCO method) was equal to 6.251 (varied from 0.081 to 79.070) $\mu g*g^{-1}$ of dry sediments. At the same time, summary concentration of the chlorophyll and pheopigments (measured using the Lorencen method) was equal to 14.122 (varied from 0.271 to 113.50) $\mu g*g^{-1}$ of dry sediments. It was noted, that the chlorophyll content depends on the type of sediments. In washed sands, its average concentration was equal to 0.367±0.134 $\mu g*g^{-1}$; in weakly silted sands – 0.510±0.203; in moderately silted sands – 1.802±0.549; in heavily silted sands – 5.259±0.896; in muddy sediments – 14.490±3.066 $\mu g*g^{-1}$. The ratio of optical densities of extracts on 480 and 665 nanometers (what considered as carotenoid / chlorophyll ratio) was equal to 1.637 (varied from 0.640 to 4.125). The variation coefficient of the chlorophyll a concentration was equal to 132.6%, pheopigments – to 80.6%, carotenoides / chlorophyll ratio – to 53.1%. Was established, that the average concentrations of pigments in sediments of the Danube delta straits, were higher, comparing to pigment concentrations in sediments of the main river bed. Taking into account the values of water turbidity, current, carotenoides / chlorophyll ratio and part of pheopigments in pigment fund of sediments, it was found, that the significant part of the pigments in sediments on this water area is connected with the sedimented phytoplancton. Basing on data of pigment fund of sediments, the ecological status of investigated water area mainly classified as a "good". Was not established any significant differences in ecological status of the various stations within the investigated water area.

***Key words:** photosynthetic pigments, sediments, ecological status, Danube River.*

Надійшла до редколегії 10.03.2018