

ЕКОЛОГІЧНА ФІЗІОЛОГІЯ І БІОХІМІЯ ВОДНИХ РОСЛИН

УДК 574.583 (28) + 581.526.325

В.О. МЕДВЕДЬ, к. б. н., наук. співроб., ст. наук. співроб.,
Інститут гідробіології НАН України,
просп. Володимира Івасюка, 12, Київ, 04210, Україна
e-mail: vika_med@i.ua
ORCID 0000-0001-5737-6576

Г.В. ХАРЧЕНКО, к. б. н., наук. співроб.,
Інститут гідробіології НАН України,
просп. Володимира Івасюка, 12, Київ, 04210, Україна
e-mail: harchenkogallina@gmail.com
ORCID 0000-0002-6102-2129

ФІТОЕПІФІТОН *CERATOPHYLLUM DEMERSUM* L. ТА ЙОГО ПІГМЕНТНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ У ВОДОЙМАХ НАЦІОНАЛЬНОГО ПРИРОДНОГО ПАРКУ «ГОЛОСІЇВСЬКИЙ» (УКРАЇНА)

За матеріалами досліджень водойм Національного природного парку (НПП) «Голосіївський» у 2022 та 2023 рр. наведено дані щодо вмісту фотосинтетичних пігментів (хлорофілу *a*, *b*, *c* і каротиноїдів) в епіфітоні *Ceratophyllum demersum* L., а також проаналізовано спектральні пігментні індекси епіфітних водоростей. Виявлено, що епіфітон *C. demersum* у вегетаційні сезони 2022—2023 рр. відрізнявся за кількістю фотосинтетичних пігментів. У червні, липні та жовтні найбільші середні концентрації хлорофілу *a* та хлорофілу *c* в обростанні *C. demersum* було зареєстровано у 2022 р., тоді як середній вміст хлорофілу *b* у зазначені місяці був вищим у 2023 р. Показано, що сезонні зміни вмісту хлорофілів та каротиноїдів загалом характеризувалися його більшими значеннями в літній період та помітним зменшенням восени. Вміст хлорофілу *a* та каротиноїдів в обростанні *C. demersum* корелює з біомасою фітоепіфітону і пов'язаний з його структурою.

Ключові слова: *Ceratophyllum demersum* L., фітоепіфітон, фотосинтетичні пігменти, спектральні пігментні індекси, водойми НПП «Голосіївський».

Для оцінки стану водних екосистем традиційно використовують низку гідробіологічних показників. Досить широко вживаним показником при цьому є вміст фотосинтетичного пігменту — хлорофілу *a*, який віддзеркалює інтенсивність перебігу процесів новоутворення органічних речовин у водоймах та їхню трофічність.

Значення пігментних характеристик для визначення стану водойм обумовлено як унікальною безпосередньою участю рослинних пігментів

Ц и т у в а н н я: Медведь В.О., Харченко Г.В. Фітоепіфітон *Ceratophyllum demersum* L. та його пігментні характеристики у водоймах Національного природного парку «Голосіївський» (Україна). *Гідробіол. журн.* 2025. Т. 61, № 2. С. 68—86.

в процесі фотосинтезу, так і індикацією різних сторін структурно-функціональної організації водних екосистем, до яких належать просторові та сезонні зміни рослинних угруповань, співвідношення продукційно-деструкційних процесів, інтенсивність евтрофування та формування якості води [14, 23, 31, 35—38].

Рослинні пігменти чутливо реагують на зміну умов довкілля і можуть бути надійними індикаторами екологічного стану водойм [22, 35—37, 42, 43].

Водорості обростань макрофітів, або епіфітон, є одним з важливих продуцентів органічної речовини на мілководних ділянках водосховищ [19]. Його внесок у сумарну первинну продукцію коливається в широких межах і може досягати значних величин [8, 13, 26].

Водорості епіфітону, що розвиваються в обростанні макрофітів різних екологічних груп і ведуть прикріплений спосіб життя, віддзеркалюють поточний стан водного середовища і тому широко використовуються для біоіндикації стану різнотипних водойм [9, 30, 33].

На сьогодні в літературі наявні численні дані відносно фітоепіфітону малих водойм м. Києва [28, 29, 32, 41]. Проте серед них відсутні відомості щодо вмісту фотосинтетичних пігментів та їхнього взаємозв'язку з кількісними характеристиками водоростей, які розвиваються в обростанні вищих водних рослин зазначеного об'єкту природно-заповідного фонду.

Метою даної роботи було визначення вмісту фотосинтетичних пігментів (хлорофілу *a*, *b*, *c* і каротиноїдів) в фітоепіфітоні *Ceratophyllum demersum* L. та оцінка спектральних пігментних індексів водоростей епіфітону протягом вегетаційного періоду.

Матеріал і методика досліджень

Дослідження проводили в червні, липні та жовтні 2022 і 2023 рр. на водоймах НПП «Голосіївський». Проби обростань відбирали із зануреної вищої водної рослини *Ceratophyllum demersum* L. у Горіховатському ставку № 4 (нумерацію ставків подано згідно [4]).

Відбір фітоепіфітону здійснювали з використанням загальноприйнятих у практиці гідробіологічних досліджень методів [15, 24]. З кожної рослини відбирали зразки обростання, змиваючи його спеціальною щіточкою у посудину об'ємом 100 см³. Одну частину проб (об'ємом 50 см³) використовували для оцінки вмісту фотосинтетичних пігментів (її фільтрували через мембранні фільтри Синпор 0,85 мкм), а іншу (об'ємом 50 см³) — фіксували 40 %-вим розчином формальдегіду для подальшого камерального опрацювання.

Чисельність фітоепіфітону визначали за допомогою камери Нажотта (0,02 см³), а біомасу встановлювали стереометричним методом [24]. Чисельність (*N*) та біомасу (*B*) водоростей епіфітону розраховували на 1 г повітряно-сухої маси рослини-субстрату і виражали відповідно у млн. кл/г і в мг/г. Латинські назви водоростей наведено відповідно до [18].

Домінуючими вважали ті види, частка яких становила не менше 10 % кількості клітин або біомаси фітоепіфітону у кожній відібраній пробі. Частоту трапляння водоростей визначали як відношення кількості проб, в яких даний вид був знайдений, до загальної кількості опрацьованих проб. Видовий склад епіфітних водоростей порівнювали за допомогою коефіцієнта флористичної подібності Серенсена (КФП) [3].

Вміст фотосинтетичних пігментів хлорофілу *a*, *b*, *c* та каротиноїдів в епіфітоні визначали стандартним спектрофотометричним методом з використанням відповідних рівнянь [27, 40] і розраховували на 1 г повітряно-сухої маси рослини-субстрату та виражали відповідно у мкг/г і в мкгSPU/г.

Відносну частку кожного пігменту ($C_{\text{хл } a}$, %, $C_{\text{хл } b}$, %, $C_{\text{хл } c}$, %) розраховували виходячи із загальної кількості зелених пігментів та вмісту хлорофілів *a*, *b* і *c* у кожній пробі епіфітону. Паралельно обчислювали внесок (%) кожного відділу водоростей у загальну біомасу фітоепіфітону.

Вміст продуктів розпаду хлорофілу *a* (феопігментів) оцінювали за допомогою рівнянь Лоренцена [34] згідно відповідних методик [5]. Їхню частку ($C_{\text{фео } a}$, %) розраховували від суми з «чистим» хлорофілом *a* в кожній пробі епіфітону. Відносний вміст хлорофілу *a* ($C_{\text{хл } a}/V$) $\times 100$ розраховували з використанням значень біомаси фітоепіфітону та вмісту хлорофілу *a* в кожній пробі епіфітону.

Для отримання узагальнюючих характеристик результатів досліджень обчислювали їхні середні значення (\bar{x}) і стандартну похибку (SE) та виражали як $\bar{x} \pm SE$. Статистичне опрацювання отриманих даних проведено за допомогою програми MS Excel 2010. Спрямованість зв'язку (позитивний, негативний) між спектральними пігментними характеристиками фітоепіфітону та часткою певного відділу водоростей у їхній загальній біомасі оцінювали за допомогою кореляційного аналізу [10].

Результати досліджень та їх обговорення

Характеристика епіфітону. Сезонну динаміку епіфітних водоростей на занурених макрофітах досліджували на прикладі куширу зануреного — *Ceratophyllum demersum* L. В обростанні *C. demersum* протягом вегетаційного періоду 2022 і 2023 рр. було знайдено 54 види водоростей із шести відділів: Cyanoprokaryota (2), Chlorophyta (12), Bacillariophyta (32), Dinophyta (2), Euglenophyta (4) і Streptophyta (2). Найбільшу кількість видів (45) виявлено в липні, а найменшу (27) — в жовтні. Середня кількість видів у вегетаційний період 2022 р. становила 20, а у 2023 р. — 18 (табл. 1).

Максимальну кількість видів водоростей епіфітону в 2022 р. зареєстровано у червні (25), а в 2023 р. — у липні (24). Найменшу кількість видів (12 та 15) відмічено відповідно у жовтні 2023 і 2022 рр. Подібну закономірність щодо зменшення кількості видів водоростей восени спостерігали й інші дослідники [23].

Аналіз отриманих даних щодо видової структури фітоепіфітону *C. demersum* у вегетаційний період 2022 і 2023 рр. показав, що основу його

видового багатства (41,2—88,9 % загальної кількості знайдених видів) склали Bacillariophyta (32), тоді як частка водоростей інших відділів була значно меншою: Chlorophyta (12) — 5,3—41,2 %, Euglenophyta (4) — 5,3—11,8 %. Внесок видів з інших відділів у загальну кількість видів знаходився у межах 3,8—5,9 %.

Представників Bacillariophyta виявлено в усіх (12) відібраних зразках обростань *C. demersum*, Chlorophyta — в десяти; види з інших відділів водоростей траплялись рідше: Euglenophyta — у п'яти зразках, Streptophyta — у чотирьох, а Dinophyta — у трьох.

Найбільшою частотою трапляння (92—100 %) характеризувалися такі види, як *Cocconeis placentula* Ehrenb., *Gomphonema truncatum* Ehrenb., *Melosira varians* C. Agardh, дещо нижчою (69—77 %) — *Cymbella cistula* (Hemp) Grunow, *Cymbella tumida* (Bréb.) van Heurck, *Encyonema caespitosum* Kütz., *Gomphonema acuminatum* Ehrenb. var. *coronatum* (Ehrenb.) Rabenh., *Gomphonema augur* Ehrenb., *Tabellaria fenestrata* (Lyngb.) Kütz., *Navicula tripunctata* (O. Müll.) Vory та *Synedra ulna* (Nitzsch) Ehrenb.

Видовий склад фітоепіфітону у вегетаційні періоди 2022 та 2023 рр. був досить подібний (значення КФП становили 62,7—75,0 %) (табл. 2). При цьому найбільшою подібністю характеризувався видовий склад Bacillariophyta (КФП = 72,2—78,9 %). Домінуючий комплекс був найбільш подібним в літній період (КФП = 66,7 %) (див. табл. 2).

Таблиця 1

Кількісні показники фітоепіфітону в обростанні *Ceratophyllum demersum*

Дати відбору проб	Кількість видів, од.	Чисельність, млн. кл/г	Біомаса, мг/г
07.06.2022 р.	19–25	9,761–17,935	37,46–78,55
	*22±2,68	*13,848±2,89	*58,01±14,53
18.07.2022 р.	18–22	3,987–4,714	1,192–16,68
	*20±2,16	*4,398±0,36	*14,30±1,73
11.10.2022 р.	15–18	5,060–7,648	22,63–33,33
	*17±1,22	*6,353±0,92	*27,98±3,78
Загалом за 2022 р.	15–25	3,987–17,935	1,192–78,56
	**20±2,16	**8,200±3,48	**33,43±15,74
06.06.2023 р.	17–19	1,407–2,967	3,79–7,10
	*18±2,86	*2,187±0,56	*5,44±1,20
31.07.2023 р.	17–24	9,724–13,296	13,95–23,24
	*20±3,63	*11,510±1,27	*18,59±3,29
17.10.2023 р.	12–18	0,306–0,416	0,57–0,73
	*15±3,56	*0,361±0,04	*0,65±0,06
Загалом за 2023 р.	12–24	0,306–13,296	0,57–23,24
	**18±2,16	**4,686±4,27	**8,23±6,61

Примітка. Над рискою — граничні величини; під рискою — середні значення: * при $n = 2$; ** при $n = 6$.

Таблиця 2

Коефіцієнти флористичної подібності (%) видового складу водоростей епіфітону *Ceratophyllum demersum* в різні сезони 2022 і 2023 рр.

Відділи	Весна	Літо	Осінь
Bacillariophyta	78,9	72,2	76,5
Chlorophyta	28,6	22,2	66,7
Загалом	65,4	62,7	75,0
Домінуючий комплекс	50,0	66,7	50,0

Фітоепіфітон *C. demersum* також помітно відрізнявся і за кількісними показниками його розвитку у різні роки досліджень (див. табл. 1). Так, чисельність водоростей епіфітону у вегетаційний період 2022 і 2023 рр. змінювалась від 0,306 до 17,935 млн. кл/г, а біомаса — від 0,57 до 78,56 мг/г. Найменші величини зазначених показників відмічено у жовтні 2023 р., а найбільші — у червні 2022 р.

За чисельністю та біомасою, як і за кількістю видів, переважали діатомові водорості (рис. 1). Їхній внесок у загальну кількість клітин і біомасу в середньому становив 74,6 і 88,3 %, тоді як відповідні частки інших відділів водоростей були значно меншими: зелених — 12,0 і 3,2 %, синьозелених — 27,5 і 1,2 %, динофітових — 1,4 і 11,6 %, стрептофітових — 0,5 і 0,8 %, а евгленофітових — 0,9 і 0,6 %.

Отримані дані також свідчать про те, що фітоепіфітон *C. demersum* у різні місяці та різні роки досліджень помітно відрізнявся за кількісними показниками (див. табл. 1). Виявлені особливості у характері змін кількісних показників розвитку водоростей в обростанні *C. demersum*, найімовірніше, зумовлені різними умовами навколишнього середовища. Так, протягом вегетаційних сезонів 2022 та 2023 рр. чисельність водоростей змінювалась, відповідно від 3,987 до 17,935 та від 0,306 до 13,296 млн. кл/г, а біомаса — від 11,92 до 78,55 та від 0,57 до 23,24 мг/г. Середні значення кількісних показників розвитку водоростей епіфітону у 2022 р. були помітно вищими, ніж у 2023 р. (див. табл. 1). Так, зокрема, середня чисельність фітоепіфітону у 2022 р. становила 8,200 млн. кл/г, біомаса — 33,43 мг/г, кількість видів — 20, тоді як у 2023 р. — відповідно 4,686 млн. кл/г, 8,23 мг/г та 18.

Найбільші кількісні показники розвитку водоростей в обростанні *C. demersum* зареєстровано у червні 2022 р., коли чисельність водоростей епіфітону досягала 17,935 млн. кл/г, а біомаса — 78,55 мг/г (див. табл. 1).

Загалом можна вважати, що в 2022 р. умови для розвитку водоростей були більш сприятливими, ніж у 2023 р.

За чисельністю та біомасою, як і за кількістю видів, у вегетаційні періоди 2022 та 2023 рр. переважали діатомові водорості (див. рис. 1). Їхній внесок у загальну кількість клітин і біомасу в середньому становив

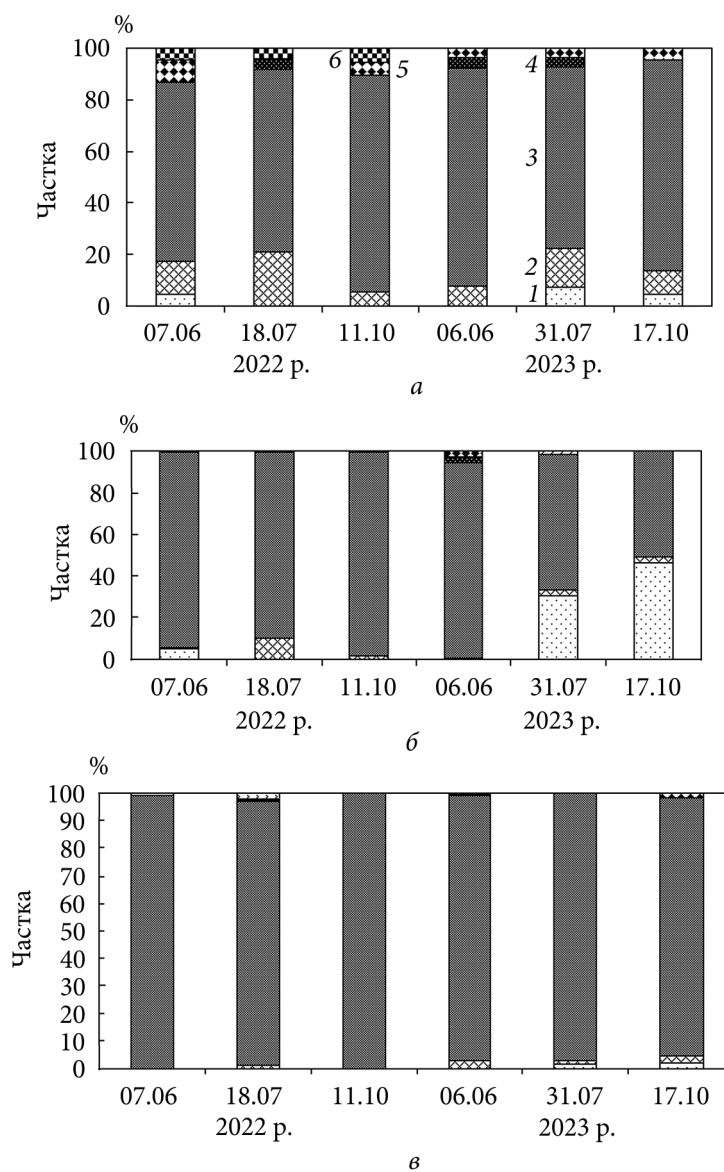


Рис. 1. Структура видового багатства (а), чисельності (б) та біомаси (в) фітоепіфітону *Ceratophyllum demersum*: 1 — Cyanoprokaryota; 2 — Chlorophyta; 3 — Bacillariophyta; 4 — Dinophyta; 5 — Euglenophyta; 6 — Streptophyta

93,7 і 98,0 % у 2022 р. та 69,9 і 94,9 % — у 2023 р. Відповідні частки зелених водоростей становили 4,3 і 0,4 % та 2,2 і 2,2 %, стрептофітових — 0,03 і 1,0 % та 1,8 і 0,1 %, евгленових — 0,9 і 0,1 % та 1,1 і 11,8 %, динофітових — 0,3 і 1,2 % та 1,6 і 0,3 % і синьозелених — 0,2 і 0,1 та 2,8 і 1,2 %.

До складу домінуючого комплексу фітоепіфітону у досліджувані місяці 2022 і 2023 рр. входило вісім видів Bacillariophyta. Серед них у 2022 р. переважала *Melosira varians*. Частота її домінування досягала 100 %, а вне-

сок в загальну біомасу знаходився в межах 45,9—77,2 %. До складу домінуючого комплексу епіфітону *C. demersum* також входили *Tabellaria fenestrata* та *Cocconeis placentula*. Частота їхнього домінування була дещо нижчою — відповідно 67 та 33 %, а внесок у загальну біомасу становив 10,9—18,1 % та 5,4—11,9 %.

У 2023 р. в фітоепіфітоні *C. demersum* переважали *Melosira varians* і *Cocconeis placentula*. Частота їхнього домінування досягала 100 %, а внесок у загальну біомасу коливався відповідно від 13,0 до 77,2 % та від 21,1 до 61,9 %. До складу домінуючого комплексу також входили *Synedra ulna* і *Cymbella tumida*. Частота їхнього домінування була дещо нижчою: *S. ulna* — 55 %, *C. tumida* — 33 %, а їхній внесок у загальну біомасу знаходився в межах 18,7—23,5 % та 14,4—14,6 %, відповідно.

Порівняння домінуючого комплексу епіфітону *C. demersum* у 2022 та 2023 рр. показало, що він помітно відрізнявся в різні роки. Так, *Melosira varians* була серед домінантів як у 2022 р., так і у 2023 р. (у червні, липні та жовтні), тоді як *Tabellaria fenestrata* домінувала лише у 2022 р. (у червні, липні та жовтні), *Cocconeis placentula* — у червні і липні 2022 р. та у червні, липні та жовтні 2023 р., *Cymbella tumida* — у липні 2023 р., а *Synedra ulna* — у липні та жовтні 2023 р.

Відмінності у розвитку водоростей епіфітону у вегетаційні періоди 2022 і 2023 рр., ймовірно, обумовлені перш за все різною температурою води у період відбору обростань та різним вмістом біогенних елементів.

Характеристика пігментного складу фітоепіфітону. Вміст основного фотосинтетичного пігменту хлорофілу *a* в обростанні *C. demersum* протягом періоду спостережень (2022 і 2023 рр.) коливався у широких межах: від 7,87 до 90,43 мкг/г (табл. 3). У різні роки досліджень вміст пігменту в епіфітоні помітно відрізнявся, при цьому він укладався у відомі для прісноводних водойм межі [39]. Ймовірно, що висока варіабельність концентрації хлорофілу в епіфітоні обумовлена коливаннями умов навколишнього середовища. Підтвердженням цього можуть бути дані, отримані іншими дослідниками [16, 17] як для фітопланктону водойм, так і для епіфітону [23].

Відомо, що концентрація хлорофілу зазнає сезонних змін [23]. Отримані результати засвідчили, що характер цих змін у роки наших досліджень відрізнявся певною своєрідністю. Так, у 2022 р. найбільша середня кількість хлорофілу *a* спостерігалась у червні, а у 2023 р. — у липні. З настанням осені вміст хлорофілу в епіфітоні *C. demersum* зменшувався (див. табл. 3). Аналогічні результати були отримані й іншими дослідниками [20].

У вегетаційний період 2022 р. вміст основного фотосинтетичного пігменту в епіфітоні *C. demersum* був помітно вищим порівняно з 2023 р. Так, наприклад, у 2022 р. вміст хлорофілу *a* в обростанні варіював від 29,62 до 90,43 мкг/г, тоді як у 2023 р. — від 7,87 до 47,12 мкг/г при середніх його значеннях відповідно 61,25 мкг/г та 28,60 мкг/г. Отримані нами дані

узгоджуються з кількісними показниками розвитку фітоепіфітону (див. табл. 1).

Відомо, що висока варіабельність вмісту хлорофілу *a* свідчить про сприятливі умови для розвитку водоростей [23]. Проведений аналіз отриманих нами даних дозволяє зробити висновок, що у 2022 р. умови для розвитку водоростей в обростанні *C. demersum* були більш сприятливими, ніж у 2023 р. На це вказує ширший діапазон змін концентрації зеленого пігменту у 2022 р. порівняно з 2023 р.

Вважається, що пігментний апарат фітопланктону більш чутливий до умов зовнішнього середовища, ніж його біомаса [23], що вказує на перевагу пігментів як індикаторів змін цих умов. Підтвердженням зазначеного є більш висока порівняно з біомасою варіабельність концентрації хлорофілу *a*. Тому було цікаво співставити дані по біомасі епіфітону та вмісту в ньому хлорофілу *a*.

Проведений аналіз дозволив зробити певний висновок щодо того, що для епіфітону, на відміну від фітопланктону, ймовірно, характерна однакова чутливість як пігментного апарату, так і кількісного розвитку водоростей в обростанні макрофітів до змін умов навколишнього середовища. Зокрема, межі коливань вмісту хлорофілу *a* та величини біомаси водоростей епіфітону були досить широкими: вони змінювались, відповідно, від 7,87 до 90,43 мкг/г (див. табл. 3) та від 0,57 до 78,55 мг/г (див.

Таблиця 3

Вміст фотосинтетичних пігментів в епіфітоні *Ceratophyllum demersum*

Дати відбору проб	$C_{\text{хл } a}$, мкг/г	$C_{\text{хл } b}$, мкг/г	$C_{\text{хл } c}$, мкг/г	$C_{\text{кар}}$, мкгSPU/г
07.06.2022 р.	52,5–90,43	2,20–2,86	12,87–21,69	46,99–82,39
	*73,54±11,08	2,57±0,20	17,57±2,56	65,86±10,26
18.07.2022 р.	52,88–80,68	1,05–1,36	18,53–22,79	54,23–80,28
	*67,02±8,44	1,26±0,10	20,51±1,34	66,59±8,15
11.10.2022 р.	29,62–63,12	0,40–4,87	12,27–27,32	28,44–55,11
	*43,19±9,40	2,45±0,71	20,42±3,98	39,74±7,38
Загалом за 2022 р.	29,62–90,43	0,40–4,35	12,27–27,32	28,44–82,39
	** 61,25±13,44	2,09±0,77	19,73±3,15	57,40±12,38
06.06.2023 р.	7,87–10,26	0,41–1,18	3,55–5,01	8,99–12,19
	*9,30±0,82	0,82±0,23	4,32±0,54	10,68±1,11
31.07.2023 р.	42,70–47,12	1,79–2,84	12,97–14,17	44,53–47,58
	*45,30±1,39	2,22±0,50	13,73±0,59	46,13±0,89
17.10.2023 р.	23,09–38,99	3,51–5,77	11,95–15,81	25,48–37,52
	*31,19±5,24	4,12±0,78	14,01±1,14	30,99±4,01
Загалом за 2023 р.	7,87–47,12	0,41–5,77	3,55–15,81	8,99–47,58
	** 28,60±11,31	2,39±1,10	10,69±3,40	29,27±10,95

Примітка. Над рискою — граничні величини; під рискою — середні значення: * при $n = 4$, ** при $n = 12$.

табл. 1). На наш погляд, це зумовлено тим, що водорості епіфітону ведуть прикріплений спосіб існування і тому є чутливішими індикаторами стану водного середовища, ніж планктонні водорості.

Оцінюючи середній вміст додаткового пігменту хлорофілу *b* в обростанні *C. demersum*, варто зазначити, що він був практично однаковим — 2,09 і 2,39 мкг/г відповідно у 2022 та 2023 рр. (див. табл. 3).

Щодо вмісту додаткового пігменту хлорофілу *c* в обростанні *C. demersum*, то як і для хлорофілу *a*, він був вищим у 2022 р. порівняно з 2023 р. (див. табл. 3). Так, середні значення вмісту хлорофілу *c* в епіфітоні у 2022 р. становили 17,57, 20,51 і 20,42 мкг/г відповідно у червні, липні та жовтні, тоді як у 2023 р. в ті ж місяці вони дорівнювали 4,32, 13,73 і 14,01 мкг/г.

Найвищий вміст хлорофілу *b* та *c* (за середніми величинами) у 2023 р. спостерігався у жовтні (відповідно 4,12 та 14,01 мкг/г). У 2022 р. найвищу середню кількість хлорофілу *b* зареєстровано у червні (2,57 мкг/г), а хлорофілу *c* — у липні (20,51 мкг/г). Отримані дані узгоджуються зі структурою фітоепіфітону *C. demersum* у різні роки нашого дослідження (див. рис. 1).

Загальна кількість зелених пігментів ($C_{\text{хл } a+b+c}$) в обростанні *C. demersum* (табл. 4), як і хлорофілу *a* (див. табл. 3), була вищою у 2022 р. Вона змінювалась від 44,54 до 114,98 мкг/г та від 11,82 до 63,43 мкг/г відповідно у 2022 і 2023 рр. Максимальні значення загальної кількості зелених пігментів, як і хлорофілу *a*, у 2022 р. було виявлено в червні, а у 2023 р. — у липні. Склад зелених пігментів в усіх відібраних зразках обростань *C. demersum* був подібним — у їхньому фонді переважав $C_{\text{хл } a}$. Його відносний вміст у 2022 і 2023 рр. змінювався від 62,9 до 78,5 %.

Найбільше середнє значення $C_{\text{хл } a}$ в епіфітоні зареєстровано у 2022 р., коли воно становило 73,04, проти 67,01 % у 2023 р. (див. табл. 4). Середнє значення $C_{\text{хл } b}$ становило 2,61 і 5,96 %, а $C_{\text{хл } c}$ — 24,36 і 27,03 % відповідно у 2022 та 2023 рр. Отже, найвищими величинами відносного вмісту хлорофілу *b* та *c* характеризувався епіфітон у 2023 р.

У результаті проведених досліджень було виявлено, що кількість каротиноїдів в епіфітоні, як і хлорофілу *a*, змінювалась в досить широких межах — від 8,99 до 82,39 мкгSPU/г (див. табл. 3). При цьому обростання *C. demersum* у різні місяці та роки дослідження помітно відрізнялися за концентрацією жовтих пігментів. Так, у 2022 р. їхній вміст знаходився в межах 28,44—82,39 мкг SPU/г, а у 2023 р. — коливався від 8,99 до 47,58 мкгSPU/г. В цілому, він був найбільшим у 2022 р.: так, середній вміст жовтих пігментів у 2022 р. становив 57,40, а у 2023 р. — 29,27 мкгSPU/г (див. табл. 3). Максимальну середню кількість зазначених пігментів зареєстровано у липні (66,59 і 46,13 мкгSPU/г відповідно у 2022 та 2023 рр.).

Варто зазначити, що максимумами і мінімумами вмісту каротиноїдів в обростанні *C. demersum* співпадали з мінімумами та максимумами вмісту хлорофілу *a* (див. табл. 3, рис. 2). Це свідчить про те, що між кількістю пігментів в епіфітоні, як і в планктоні [14], існує прямий зв'язок. Підтвердженням цього є достовірна позитивна залежність ($r = 0,99$ при $n = 12$,

$p \leq 0,05$ відповідно у 2022 і 2023 рр.). Разом з тим мінімальні й максимальні величини зазначених показників в основному співпадали з найбільшими і найменшими значеннями біомаси (див. рис. 2). Це спостерігали і в інших дослідженнях [23, 35—37, 39].

Достовірну позитивну залежність встановлено також між загальною біомасою епіфітону і вмістом хлорофілу *a* та каротиноїдів (для хлорофілу *a* — $r = 0,64$, для каротиноїдів — $r = 0,59$ при $n = 12$, $p \leq 0,05$).

На наш погляд, дисбаланс між концентрацією основного зеленого пігменту та біомасою, з одного боку, міг бути обумовлений зменшенням його вмісту за рахунок зменшення частки зелених водоростей. Відомо, що саме клітинам зелених водоростей притаманна підвищена кількість хлорофілу *a* порівняно з діатомовими та синьозеленими [6]. Підтвердженням може бути коефіцієнт кореляції ($r = 0,47$) між питомим вмістом хлорофілу *a* та внеском зелених водоростей у біомасу [12]. Для епіфітону *C. demersum* цю особливість для Chlorophyta відображає достовірний позитивний коефіцієнт кореляції ($r = 0,71$ при $n = 12$, $p \leq 0,05$).

З іншого боку, відсутність зв'язку або його низькі значення могли бути зумовлені погіршенням світлових умов розвитку водоростей в обростанні зі збільшенням щільності заростей та інтенсивним розвитком фі-

Таблиця 4
Характеристика складу фотосинтегичних пігментів фітоепіфітону *Ceratophyllum demersum*

Дати відбору проб	$C_{\text{хл } a+b+c}$, мкг/г	Відносний вміст хлорофілів, %		
		<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>
*07.06.2022 р.	$\frac{67,57-114,98}{93,68 \pm 13,83}$	78,50	2,74	18,76
*18.07.2022 р.	$\frac{73,40-104,83}{88,78 \pm 15,38}$	75,49	1,41	23,10
*11.10.2022 р.	$\frac{44,54-92,16}{66,07 \pm 12,43}$	65,38	3,71	30,91
**Загалом за 2022 р.	$\frac{44,54-114,98}{82,84 \pm 14,67}$	73,04	2,61	24,36
*06.06.2023 р.	$\frac{11,82-16,16}{14,45 \pm 1,45}$	64,40	5,67	29,93
*31.07.2023 р.	$\frac{59,44-63,43}{61,26 \pm 1,32}$	73,79	3,85	22,37
*17.10.2023 р.	$\frac{38,73-58,31}{49,32 \pm 6,06}$	62,98	8,73	28,30
**Загалом за 2023 р.	$\frac{11,82-63,43}{41,68 \pm 15,04}$	67,01	5,96	27,03

П р и м і т к а. Над рискою — граничні величини; під рискою — середні значення: * при $n = 4$, ** при $n = 12$.

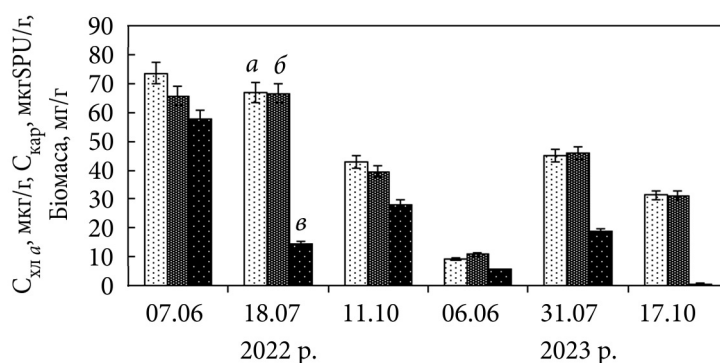


Рис. 2. Вміст хлорофілу *a* (*a*) і каротиноїдів (*б*) в епіфітоні *Ceratophyllum demersum* та його загальна біомаса (*б*)

топланктону. Імовірно також, що важливе значення мало посилене споживання біогенних елементів фітопланктоном, який інтенсивно розвивається у вегетаційний період та є конкурентом по відношенню до водоростей епіфітону [23].

Побічною характеристикою структури фітоепіфітону може бути відносний вміст хлорофілу *a* ($C_{chl\ a}/B$). Так, величина $C_{chl\ a}/B \times 100$ в епіфітоні *C. demersum* змінювалась у широких межах — від 0,8 до 51,5 %. Практично, більшість значень цього показника були в діапазоні 0,8—4,8 % (рис. 3). Його найбільші середні величини (48,0 %) зареєстровано в епіфітоні у жовтні 2023 р., а найнижчі (1,3 %) — у червні 2022 р. Деякі автори [11] зазначають, що найбільші значення $C_{chl\ a}/B$ реєструються при домінуванні зелених водоростей, а нижчі — при різному співвідношенні усіх відділів водоростей.

Останнім часом для оцінки фізіологічного стану водоростей використовують співвідношення різних пігментних характеристик [7, 21, 22, 40, 42, 43]. З огляду на це, ми проаналізували зміни деяких з них, а саме:

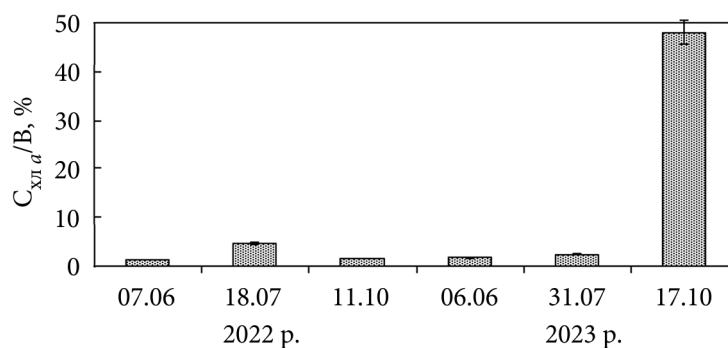


Рис. 3. Співвідношення вмісту хлорофілу *a* і загальної біомаси епіфітону ($C_{chl\ a}/B$) *Ceratophyllum demersum*

$C_{\text{хл } a+b+c}/C_{\text{хл } a}$, $C_{\text{хл } b}/C_{\text{хл } a}$, $C_{\text{хл } c}/C_{\text{хл } a}$, $C_{\text{хл } a}/C_{\text{хл } c}$, $C_{\text{хл } a}/C_{\text{хл } b}$, $C_{\text{кар}}/C_{\text{хл } a}$, $C_{\text{фео } a}$, %, $C_{\text{хл } a}/C_{\text{фео } a}$ та індекси E_{480}/E_{664} і E_{430}/E_{664} .

Отримані результати засвідчили, що у різні роки спостережень пігментні характеристики епіфітону *C. demersum* помітно відрізнялись. Сезонні зміни досліджуваних характеристик були своєрідними, що відмічали й інші дослідники [23].

Так, величини співвідношення $C_{\text{хл } a+b+c}/C_{\text{хл } a}$ у 2022 р. для обростання *C. demersum* в середньому становили 1,3, 1,3 та 1,5, а у 2023 р. — 1,5, 1,4 і 1,6 відповідно у червні, липні та жовтні (рис. 4). Тобто величини цього співвідношення в різні роки спостережень та сезони були $>1,25$, що відповідає нормально функціонуючому альгоутгрупованню [2, 36].

У всіх зразках епіфітону в різні сезони і роки спостережень величина співвідношення $C_{\text{хл } b}/C_{\text{хл } a}$ була більшою, ніж $C_{\text{хл } c}/C_{\text{хл } a}$ (див. рис. 4), що опосередковано вказує на перевагу в обростанні представників *Vaccillariophyta* [21, 22, 36]. Зазначене узгоджується також зі структурою фітоепіфітону (див. рис. 1).

Відомо, що зменшення значень співвідношень $C_{\text{хл } a}/C_{\text{хл } b}$ та $C_{\text{хл } a}/C_{\text{хл } c}$ є опосередкованим свідченням зниження фотосинтетичної активності водоростей [25, 36, 37]. Одержані нами дані показали, що величини співвідношення $C_{\text{хл } a}/C_{\text{хл } c}$ в обростанні *C. demersum* у 2022 р. змінювались від 2,2 до 4,2, а $C_{\text{хл } a}/C_{\text{хл } b}$ — від 26,3 до 53,2, тоді як у 2023 р. вони коливались у межах 2,2—3,3 та 8,0—21,1 (рис. 5).

В середньому значення співвідношення $C_{\text{хл } a}/C_{\text{хл } c}$ становили 3,2 і 2,6, а $C_{\text{хл } a}/C_{\text{хл } b}$ — 35,9 і 13,9 відповідно у 2022 та 2023 рр., що вказує на нижчу фотосинтетичну активність водоростей епіфітону у 2023 р. Найменші значення $C_{\text{хл } a}/C_{\text{хл } c}$ зареєстровано в обростанні у жовтні 2022 та 2023 рр., а максимальні — у червні 2022 р. та липні 2023 р., що є свідченням меншої фотосинтетичної активності осіннього епіфітону порівняно з літнім.

Найменші значення $C_{\text{хл } a}/C_{\text{хл } b}$ (8,0) зареєстровано в обростанні *C. demersum* у жовтні 2023 р. (див. рис. 5), що є підтвердженням погіршення фізіологічного стану водоростей епіфітону в осінній період.

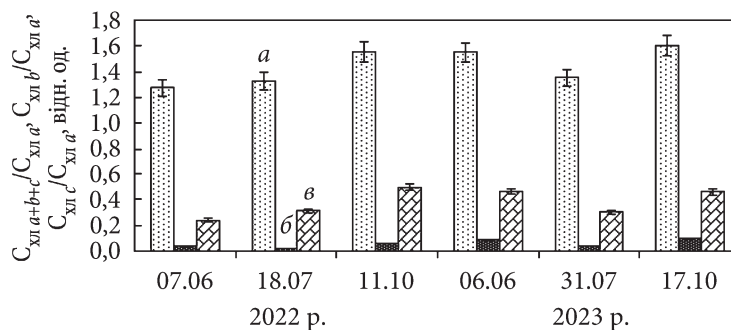


Рис. 4. Співвідношення зелених пігментів в епіфітоні *Ceratophyllum demersum*: а — $C_{\text{хл } a+b+c}/C_{\text{хл } a}$; б — $C_{\text{хл } b}/C_{\text{хл } a}$; в — $C_{\text{хл } c}/C_{\text{хл } a}$

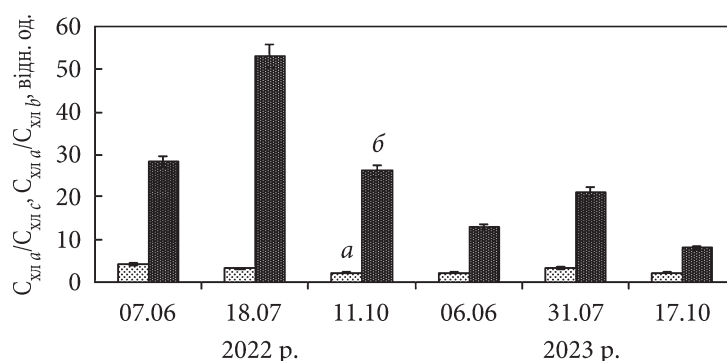


Рис. 5. Співвідношення зелених пігментів в епіфітоні *Ceratophyllum demersum*: а — $C_{xл a} / C_{xл c}$; б — $C_{xл d} / C_{xл b}$

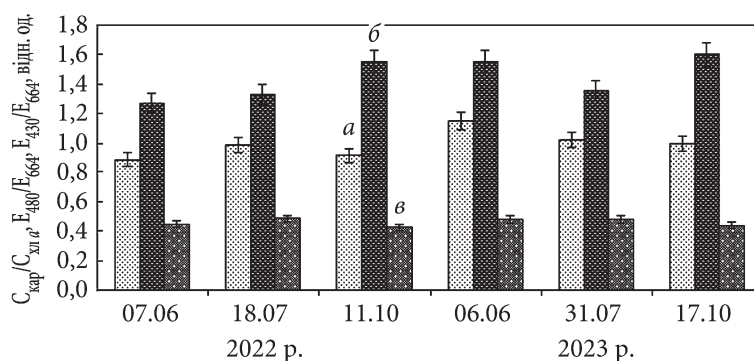


Рис. 6. Співвідношення каротиноїдів і хлорофілу а ($C_{кар} / C_{xл a}$) (а) та індекси E_{480} / E_{664} (б) і E_{430} / E_{664} (в) в епіфітоні *Ceratophyllum demersum*

Одними з важливих показників фізіологічного стану водоростей є індекси E_{480} / E_{664} , E_{430} / E_{664} та $C_{кар} / C_{xл a}$ (рис. 6), які характеризують співвідношення вмісту загальних каротиноїдів і хлорофілу а [2, 7]. Підвищення значень цих індексів свідчить про погіршення фізіологічного стану клітин водоростей та збільшення їхньої пігментної різноманітності. Величини зазначених показників у 2022 р. були дещо меншими порівняно з 2023 р. Це опосередковано вказує на певне погіршення фізіологічного стану водоростей в обростанні *C. demersum* у 2023 р. порівняно з 2022 р. Так, середні значення індексу E_{430} / E_{664} для обростання *C. demersum* становили 0,4 і 0,5, індексу E_{480} / E_{664} — 1,4 і 1,5, а співвідношення $C_{кар} / C_{xл a}$ — 0,9 і 1,1 відповідно у 2022 та 2023 рр. Аналіз величин зазначених показників у червні, липні та жовтні свідчить, що індекс E_{480} / E_{664} був вищим у жовтні 2022 р. та 2023 р. (відповідно 1,5 і 1,6), індекс E_{430} / E_{664} — у липні 2022 р. та червні 2023 р., а співвідношення $C_{кар} / C_{xл a}$ — у липні 2022 р. та червні 2023 р. (див. рис. 6).

Ще однією характеристикою фізіологічного стану епіфітону є вміст феопігментів (феофітину) та його співвідношення з хлорофілом а

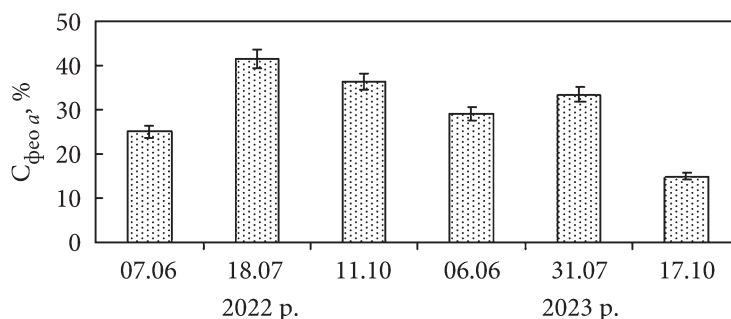


Рис. 7. Вміст феопігментів ($C_{\text{фео } a}, \%$) в епіфітоні *Ceratophyllum demersum*

($C_{\text{хл } a}/C_{\text{фео } a}$): якщо його значення менше одиниці, то це є свідченням відмирання і розкладу клітин водоростей [1]. Ці процеси супроводжуються руйнуванням хлорофілу, втратою йону Mg^{2+} та утворенням феопігментів. Аналіз значень відсоткового вмісту феопігментів ($C_{\text{фео } a}, \%$) показав, що в епіфітоні *C. demersum* він коливався у широких межах — від 14,8 до 41,5 % — і в середньому становив 34,4 та 25,9 % відповідно у 2022 та 2023 рр. (рис. 7). Найбільші концентрації феопігментів зареєстровано у липні (41,5 та 33,6 % відповідно у 2022 і 2023 рр.), тоді як у червні та жовтні вони були помітно нижчими.

Величини співвідношення $C_{\text{хл } a}/C_{\text{фео } a}$ в епіфітоні *C. demersum* були більшими за одиницю і коливались від 1,3 до 1,6 (рис. 8), що характеризує альгоутруповання як «нормально функціонуюче» [1].

Необхідно відмітити, що між співвідношенням $C_{\text{хл } a}/C_{\text{фео } a}$ та відсотковим вмістом феопігментів в обростанні *C. demersum* є достовірна негативна залежність ($r = -0,98$ та $r = -0,97$ при $n = 12$, $p \leq 0,05$ відповідно у 2022 р. та 2023 р.), тобто низьким значенням цього співвідношення відповідає високий відсотковий вміст феопігментів.

Особливість реакції пігментного комплексу епіфітону на різні екологічні умови 2022 та 2023 рр. оцінювали за характером зв'язку хлорофілу

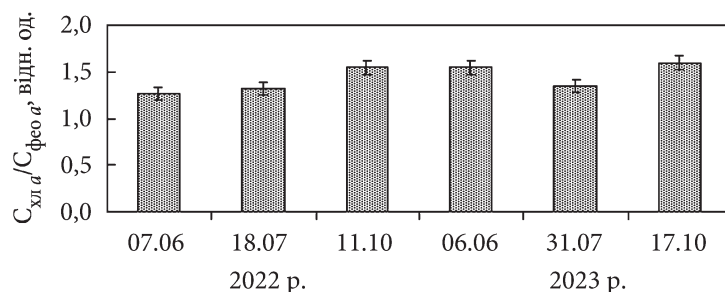


Рис. 8. Співвідношення хлорофілу *a* і феопігментів ($C_{\text{хл } a}/C_{\text{фео } a}$) в епіфітоні *Ceratophyllum demersum*

Таблиця 5

Коефіцієнти кореляції між вмістом $C_{\text{хл } a}$, мкг/г та іншими пігментними характеристиками епіфітону *Ceratophyllum demersum*

Показники	2022 р.	2023 р.
	$n = 12$	$n = 12$
$C_{\text{хл } b}$, мкг/г	0,04	0,56
$C_{\text{хл } c}$, мкг/г	0,24	0,91
$C_{\text{хл } a+b+c}$, мкг/г	0,99	0,99
$C_{\text{хл } a}$, %	0,91	0,73
$C_{\text{хл } b}$, %	-0,54	-0,27
$C_{\text{хл } c}$, %	-0,91	-0,88
$C_{\text{фео } a}$, мкг/г	0,40	0,73
$C_{\text{фео } a}$, %	-0,34	0,28
E_{480}/E_{464}	-0,91	-0,67

П р и м і т к а. Напівжирним шрифтом виділені коефіцієнти кореляції, достовірні при $p \leq 0,05$.

a з додатковими пігментами b і c , феопігментами, індексом E_{480}/E_{464} (показує співвідношення жовтих і зелених пігментів) (табл. 5).

Реакція пігментного комплексу епіфітону *C. demersum* у досліджувані роки, яку оцінювали за характером зв'язку хлорофілу a з наведеними вище показниками, помітно не відрізнялась, тоді як аналіз значень досліджуваних співвідношень зелених пігментів вказує на нижчу фізіологічну активність водоростей епіфітону у 2023 р. порівняно з 2022 р.

Зв'язок між вмістом хлорофілу a та b виявився слабким як у 2022 р., так і у 2023 р. (див. табл. 5). Водночас між концентрацією хлорофілу a та c зареєстровано достовірний позитивний зв'язок у 2023 р. ($r = 0,91$ при $n = 12$, $p \leq 0,05$). Такий самий тип зв'язку було виявлено і між показниками $C_{\text{хл } a}$ і $C_{\text{хл } a+b+c}$ та $C_{\text{хл } a}$ і $C_{\text{хл } a}$, %, як у 2022 р. так і у 2023 р., між $C_{\text{хл } a}$ і $C_{\text{фео } a}$ — у 2023 р. Разом з тим між $C_{\text{хл } a}$ і $C_{\text{хл } c}$ та між $C_{\text{хл } a}$ і E_{480}/E_{464} встановлено достовірний негативний зв'язок у 2022 р. і у 2023 р.

Висновки

Отримані дані свідчать про те, що фітоепіфітон *C. demersum* у різні місяці та у різні роки досліджень помітно відрізнявся за кількісними показниками. Виявлені особливості у характері змін кількісних показників розвитку водоростевих обростань, наймовірніше, обумовлені температурним режимом водного середовища. В цілому можна вважати, що у 2022 р. умови для розвитку водоростей в обростанні *C. demersum* були більш сприятливими, ніж у 2023 р.

Встановлено, що епіфітон у вегетаційні періоди 2022 і 2023 рр. відрізнявся за кількістю фотосинтетичних пігментів. Так, середній вміст хлорофілу *a* при цьому становив 61,25 і 28,60 мкг/г відповідно у 2022 та 2023 рр., тоді як середній вміст хлорофілу *b* і *c* був значно меншим і становив відповідно 2,09 і 2,39 та 19,73 і 10,69 мкг/г. Сумарний вміст пігментів ($C_{\text{хл } a+b+c}$) в епіфітоні дорівнював 82,84 і 41,68 мкг/г, а каротиноїдів — 57,40 і 29,27 мкгSPU/г відповідно у 2022 та 2023 рр.

Встановлено, що сезонні зміни вмісту хлорофілів та каротиноїдів в епіфітоні загалом характеризувалися більшою кількістю пігментів в літній період та помітним зменшенням їхнього вмісту восени.

Показано, що вміст хлорофілу *a* та каротиноїдів в епіфітоні позитивно корелює з його біомасою.

Доведено, що варіабельність вмісту хлорофілу *a* в обростанні та біомаси епіфітону практично однакова, що вказує про однакову чутливість цих показників до умов зовнішнього середовища.

Показано, що пігментні характеристики фітоепіфітону, а саме $C_{\text{хл } a+b+c}/C_{\text{хл } a}$, $C_{\text{хл } b}/C_{\text{хл } a}$ та $C_{\text{хл } c}/C_{\text{хл } a}$, можуть бути використані для оцінки його таксономічної структури, а співвідношення $C_{\text{хл } a}/C_{\text{хл } b}$, $C_{\text{кар}}/C_{\text{хл } a}$, $C_{\text{фео } a}$, %, $C_{\text{хл } a}/C_{\text{фео } a}$ та індекси E_{480}/E_{664} і E_{430}/E_{664} — для оцінки фізіологічного стану клітин водоростей, що розвиваються в обростанні вищих водних рослин. Аналіз значень досліджуваних співвідношень свідчить про нижчу фізіологічну активність водоростей епіфітону *C. demersum* у 2023 р. порівняно з 2022 р.

Список використаної літератури

1. Бриттон Г. Биохимия природных пигментов. Москва : Мир. 1986. 422 с.
2. Бульон В.В. Первичная продукция и трофическая классификация водоемов. Изучение первичной продукции планктона внутренних водоемов. Санкт-Петербург : Гидрометеиздат, 1993. С. 147—158.
3. Василевич В. И. Статистические методы в геоботанике. Ленинград : Наука, 1969. 232 с.
4. Горбатюк Л.О., Пасічна О.О., Ключенко П.Д. та ін. Вміст забруднювальних речовин та їх потенційна токсичність у водоймах Національного природного парку «Голосіївський». *Гідробіол. журн.* 2024. Т. 60, № 6. С. 71—85
5. ГОСТ 17.1.04.02.90. Вода. Методика спектрофотометрического определения хлорофилла-*a*. Москва : Изд-во стандартов. 1990. 14 с.
6. Елизарова В.А. Содержание фотосинтетических пигментов в фитопланктоне водоемов разного типа : автореф. дис. ... канд. биол. наук. Москва : Изд. Моск. гос. ун-та, 1975. 23 с.
7. Ермолаев В.И. Фитопланктон водоемов бассейна озера Сартлан. Новосибирск : Наука. Сибирское отделение, 1989. 96 с.
8. Жукова А. А. Оценка значимости различных автотрофных компонентов в формировании продуктивности мезотрофного озера : автореф. дис. ... канд. биол. наук. Минск, 2007. 24 с.
9. Журавлева А.А., Юлова Г.А. Альгоэпифитон рдеста блестящего (*Potamoeton lucens* L.) озера Великого (Нижегородская область). Водоросли: проблемы таксономии, экологии и использования в мониторинге : материалы II всерос. конф. (Сыктывкар, 5—9 окт. 2009 г). Сыктывкар: Ин-т биологии Коми НЦ УрШ РАН. 2009. С. 76—78.

10. Зайцев Г.Н. Математическая статистика в экспериментальной ботанике. Москва : Наука. 1984. 423 с.
11. Корнева Л. Г. Формирование фитопланктона водоемов бассейна Волги под влиянием природных и антропогенных факторов : автореф. дис. ... докт. биол. наук. Санкт-Петербург, 2009. 48 с.
12. Ляшенко О.А. Растительные пигменты как показатель биомассы фитопланктона в мелководном эвтрофном озере. *Пробл. регион. экологии*. 2004. № 5. С. 6—14.
13. Макаревич Т.А. Вклад перифитона в суммарную первичную продукцию пресноводных экосистем (обзор). *Вест. Тюмен. гос. ун-та*. 2005. № 5. С. 77—86.
14. Медведь В.А. Влияние азотсодержащих соединений воды на пигментные характеристики фитопланктона : автореф. дис... канд. биол. наук. Киев, 1990. 18 с.
15. Методи гідроекологічних досліджень поверхневих вод / за ред. В.Д. Романенка. НАН України. Ін-т гідробіології. Київ : Логос, 2006. 408 с.
16. Минеева Н.М. Растительные пигменты в воде волжских водохранилищ. Москва : Наука, 2004. 156 с.
17. Пырина И.Л., Сигарева Л.Е. Содержание пигментов фитопланктона как показатель современного состояния Рыбинского водохранилища. Актуальные проблемы экологии Ярославской области. Ярославль : Яросл. гос. тех. ун-т, 2005. С. 270—274.
18. Разнообразие водорослей Украины / Е.В. Борисова, Л.Н. Бухтиярова, С.П. Вассер и др. *Альгология*. 2000. Т. 10, Спец. выпуск № 4. 309 с.
19. Растительность и бактериальное население Днепра и его водохранилищ / Сиренко Л.А., Корелякова И.Л., Михайленко Л.Е. и др. Киев : Наук. думка, 1989. 232 с.
20. Сигарева Л.Е., Ляшенко О.А. Пигментные характеристики фитопланктона оз. Неро. Современное состояние экосистемы оз. Неро. Рыбинск : Ин-т биологии внутренних вод, 1991. С. 32—53.
21. Сиделев С.И., Бабаназарова О.В. Анализ связей пигментных и структурных характеристик фитопланктона высокоэвтрофного озера. *Журн. Сибир. федерал. ун-та. Биология*. 2008. Т. 2, № 1. С. 162—177.
22. Смольская О.С., Жукова А.А. Спектральные пигментные индексы фитопланктона в разнотипных водных объектах Беларуси. *Журн. Беларус. гос. ун-та. Экология*. 2018. № 1. С. 114—123.
23. Состояние экосистемы озера Неро в начале XXI века / отв. ред. В.И. Лазарева; Ин-т биологии внутр. вод им. И.Д. Папанина РАН. Москва : Наука, 2008. 406 с.
24. Топачевский А.В., Масюк Н.П. Пресноводные водоросли Украинской ССР. Киев : Вища шк., 1984. 336 с.
25. Яворская Н.М., Климин М.А. Содержание фоосинтетических пигментов в водорослях перифитона малых рек заказника «Хехцирский» (Хабаровский край). Чтения памяти В.Я. Леванидова. 2019. Вып. 8. С. 190—197.
26. Hansson L.-A. Factors regulating periphytic algal biomass. *Limnol. Oceanogr.* 1992. Vol. 37. P. 322—328.
27. Jeffrey S.W., Humphrey F.H. New spectrophotometric equations for determining chlorophyll *a*, *b*, *c*₁ and *c*₂ in higher plants, algae and natural phytoplankton. *Biochem. Physiol. Pflanz*. 1975. Bd. 167. P. 171—194.
28. Kharchenko G.V., Shevchenko T.F., Klochenko P.D. Comparative characteristics of phytoepiphyton of water bodies of Kiev. *Hydrobiol. J.* 2009. Vol. 45, N 5. P. 15—23.
29. Klochenko P.D., Kharchenko G.V., Shevchenko T.F. Peculiarities of the distribution of epiphyton algae in water bodies of Kiev. *Ibid.* 2012. Vol. 48, N 3. P. 39—51.
30. Klochenko P.D., Shevchenko T.F. Epiphyton as bioindicator of the state of the upper-cascade Dnieper reservoirs. *Ibid.* 2019. Vol. 55, N 4. P. 26—37.
31. Klochenko P.D., Shevchenko T.F., Nezbryskaya I.N. et al. Phytoplankton production and decomposition characteristics in water bodies differing in the degree of their contamination by inorganic compounds of nitrogen and phosphorus. *Ibid.* 2019. Vol. 55, N 3. P. 29—43.

32. Klochenko P.D., Shevchenko T.F., Vasilchuk T.A. et al. On the ecology of phytoepiphyton of water bodies of the Dnieper River basin. *Ibid.* 2014. Vol. 50, N 3. P. 41—54.
33. Komulaynen S. Experience of using phytoepiphyton monitoring in urban water-courses. *Oceanol. Hydrobiol. St.* 2004. Vol. 33, Iss. 1. P. 65—75.
34. Lorenzen C.J. Determination of chlorophyll and pheopigments: spectrophotometric equations. *Limnol. Oceanogr.* 1967. Vol. 12. P. 343—346.
35. Medved' V.A. Association between chlorophyll *a* content in phytoplankton and nitrogen content in water of the Dnieper reservoirs. *Hydrobiol. J.* 1999. Vol. 35, N 1. P. 151—157.
36. Medved' V.O. Phytoplankton spectral pigment indices in the lakes of the city of Kyiv. *Ibid.* 2023. Vol. 59, N 4. P. 30—46.
37. Medved' V.O., Kharchenko G.V. Pigment and quantitative indices of phytoplankton of megalopolis lakes and assessment of their trophic status. *Ibid.* 2022. Vol. 58, N 3. P. 54—67.
38. Medved' V.O., Kharchenko G.V. Epiphyton pigment indices in the river section of the Kaniv Reservoir (Ukraine). *Ibid.* 2024. Vol. 60, N 4. P. 57—71.
39. Mineeva N.M., Metelyeva N.Yu. Comparative characteristics of phytoplankton and epiphyton productivity in the upper Volga reservoirs. *Inland Water Biology.* 2019. Vol. 12. Suppl. 1. P. 37—44.
40. Parsons T.R., Strickland J.D.H. Discussion of spectrophotometric determination of marine-plant pigments with revised equations for ascertaining chlorophylls and carotenoids. *J. Marine Res.* 1963. Vol. 21, N 3. P. 155—163.
41. Shevchenko T.F., Kharchenko G. V., Klochenko P.D. Cenological analysis of phytoepiphyton of water bodies of Kiev. *Hydrobiol. J.* 2010. Vol. 46, N 1. P. 41—55.
42. Sirenko L.A., Kureyshevich A.V., Medved' V.A. Peculiarities of the development of phytoplankton in the upper and lower reaches of the regulated river (on the example of the Dnieper River). *Ibid.* 2000. Vol. 36, N 4. P. 10—20.
43. Sirenko L.A., Medved' V.A. Long-term dynamics of the content of chlorophyll *b* and peculiarities of development of phytoplankton in the Dneprodzerzhinsk Reservoir. *Ibid.* 2000. Vol. 36, N 5. P. 140—155.

Надійшла 11.11.2024

V.A. Medved, PhD (Biol.), Researcher, Senior researcher,
Institute of Hydrobiology of the NAS of Ukraine,
Volodymyr Ivasyuk Avenue, 12, Kyiv, 04210, Ukraine
e-mail: vika_med@i.ua
ORCID 0000-0001-5737-6576

G.V. Kharchenko, PhD (Biol.), Researcher,
Institute of Hydrobiology of the NAS of Ukraine,
Volodymyr Ivasyuk Avenue, 12, Kyiv, 04210, Ukraine
e-mail: harchenkogallina@gmail.com
ORCID 0000-0002-6102-2129

PHYTOEPIPHYTON OF *CERATOPHYLLUM DEMERSUM* L. AND ITS PIGMENT CHARACTERISTICS IN THE WATER BODIES OF THE «GOLOSIYIVSKY» NATIONAL NATURE PARK (UKRAINE)

The content of photosynthetic pigments (chlorophyll *a*, *b*, *c* and carotenoids) and the spectral pigment indices of epiphytic algae were studied in phytoepiphyton of *Ceratophyllum demersum* L. in the water bodies of the «Golosiivsky» National Nature Park in 2022 and 2023. It has been found that in different years epiphyton of *C. demersum* differed in the content of photosynthetic pigments. It was established that in June, July, and October the highest average concentrations of chlorophylls *a* and *c* in epiphyton of *C. demersum* were registered in 2022, while the average content of chlorophyll *b* in the fouling of this plant was higher in 2023. It was shown that seasonal changes in the content of chlorophylls and

carotenoids in general were characterized by their higher values in summertime and by a noticeable decrease in autumn. The content of chlorophyll *a* and carotenoids in the fouling of *C. demersum* correlates with the biomass of phytoepiphyton and is related to its structure.

Key words: *Ceratophyllum demersum* L., phytoepiphyton, photosynthetic pigments, spectral pigment indices, the water bodies «Golosiivsky» National Nature Park.