

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

СПЕКТРАЛЬНІ ПІГМЕНТНІ ІНДЕКСИ ФІТОПЛАНКТОНУ ОЗЕР М. КИЄВА

У роботі розглядається розподіл пігментних характеристик ($C_{chl\ a+b+c}/C_{chl\ a}$, $C_{chl\ b}/C_{chl\ a}$, $C_{chl\ c}/C_{chl\ a}$, $C_{chl\ a}/C_{chl\ b}$, $C_{chl\ a}/C_{chl\ c}$, $C_{pheo\ a}$, $C_{chl\ a}/C_{pheo\ a}$, $C_{car}/C_{chl\ a}$, E_{480}/E_{664} і E_{430}/E_{664}) фітопланктону 19 озер, які розташовані в межах м. Києва та відрізняються за походженням, гідрологічними умовами і ступенем антропогенного навантаження. Встановлено, що зміни у співвідношенні окремих груп пігментів корелюють зі змінами структури фітопланктону. Наведені пігментні індекси можна використовувати для оцінки структури альгоугруповань, фізіологічного стану водоростей, їхнього кількісного розвитку та екологічного стану водойм.

Ключові слова: озера м. Києва, фітопланктон, хлорофіли *a*, *b*, *c*, співвідношення пігментів, каротиноїди, феопігменти, пігментні індекси.

Зростаючий рівень антропогенного навантаження на водойми призводить до значних змін їхніх екосистем. Найвиразніше негативні наслідки антропогенного впливу відбиваються на водних системах, розташованих у великих промислових містах. Це пов'язано з тим, що на урбанізованих територіях проявляється комплексний антропогенний вплив, який призводить до порушення перебігу природних процесів у водоймах та погіршення якості води.

Фітопланктон, порівняно з іншими автотрофами, досить швидко реагує на зміни умов навколишнього середовища [5]. Пігментні характеристики планктонних водоростей останнім часом широко використовуються як в біоіндикації, так і при оцінці продуктивності водойм та якості води [13, 17, 20, 23—25]. За вмістом хлорофілів (*a*, *b* і *c*) та їхнім співвідношенням оцінюють кількісний розвиток водоростей планктону, а також їхню таксономічну різноманітність та фізіологічний стан [13, 27].

Відомо, що зміни пігментних характеристик пов'язані як з трофічним рівнем водойм, так і з структурою їхнього фітопланктону. Зазначені зміни зберігають свою спрямованість в ході сезонних і багаторічних сук-

Ц и т у в а н н я: Медведь В.О. Спектральні пігментні індекси фітопланктону озер м. Києва. *Гідробіол. журн.* 2023. Т. 59. № 2. С. 33—49.

ISSN 0375-8990. Гідробіологічний журнал. 2023. 59(2)

цесій альгоугруповань, чутливо реагують на умови навколишнього середовища і пов'язані з особливостями екологічного стану водойм [24].

Вивчення кількісних співвідношень пігментів дає можливість судити про переважання тієї чи іншої групи водоростей, а порівняльна оцінка їхнього фізіологічного стану в різних водоймах може слугувати індикатором наявності забруднювальних речовин та інших проявів антропогенного впливу [13, 20, 22, 24].

Відомо, що різні відділи водоростей відрізняються за складом фотосинтетичних пігментів [8, 13, 26]. Так, хлорофіл *a* наявний в усіх водоростях, тоді як хлорофіл *b* виявлений у зелених, еугленових і харових водоростях, хлорофіл *c* — у криптофітових, динофітових, золотистих, жовто-зелених, діатомових і бурих, хлорофіл *d* — у червоних, хлорофіл *e* — у жовтозелених водоростях (табл. 1). Крім того, у представників відділів Cyanophyta, Cryptophyta і Rhodophyta знайдені такі додаткові пігменти, як фікобіліни.

Таблиця 1

Склад пігментів у основних груп водоростей [13, 26]

Відділи	Пігменти
Cyanophyta	Хлорофіл <i>a</i> , фікобіліни
Chlorophyta, Euglenophyta, Charophyta	Хлорофіл <i>a</i> і <i>b</i>
Dinophyta, Chrysophyta, Bacillariophyta, Phaeophyta	Хлорофіл <i>a</i> і <i>c</i>
Cryptophyta	Хлорофіл <i>a</i> і <i>c</i> , фікобіліни
Xanthophyta	Хлорофіл <i>a</i> , <i>c</i> і <i>e</i>
Rhodophyta	Хлорофіл <i>a</i> і <i>d</i> , фікобіліни

Варто зазначити, що на відміну від даних щодо якісного та кількісного складу водоростей озер м. Києва [32—34], відомості щодо вмісту у його водоймах хлорофілу *a* та каротиноїдів вкрай обмежені [10, 11, 39, 42, 43]. Зокрема, практично відсутня інформація щодо спектральних характеристик фітопланктону досліджуваних водойм мегаполісу. На нашу думку, зазначені параметри автотрофної ланки водойм можуть бути корисними при оцінці їхнього екологічного стану.

У зв'язку з цим, метою нашої роботи було з'ясування можливостей використання спектральних характеристик планктонних водоростей для оцінки їхнього фізіологічного стану та екологічного стану водойм м. Києва.

Матеріал і методика досліджень

В якості об'єктів дослідження було обрано 19 озер м. Києва, що зазнають різнобічного антропогенного впливу (промислові підприємства, міське будівництво, автошляхи тощо) та відрізняються за своїм походженням [1].

Серед досліджуваних водойм були такі правобережні озера, як Редьчине (50°32'23" N 30°28'43" E), Мінське (50°31'20" N 30°28'20" E), Лугове (50°30'43" N 30°28'35" E), Богатирське (50°30'08" N 30°29'11" E), Кирилівське (50°29'52" N 30°29'38" E), Йорданське (50°29'35" N 30°30'00" E), Вербне (50°29'24" N 30°31'03" E), Центральне (50°31'06" N 30°30'32" E), Синє (50°30'39" N 30°24'04" E) та Голубе (50°30'29" N 30°24'45" E), а також лівобережні озера — Вирлиця (50°23'44" N 30°39'41" E), Підбірна (50°23'12" N 30°36'06" E), Райдужне (50°29'02" N 30°34'58" E), Сонячне (50°25'09" N 30°38'20" E), Тельбін (50°25'33" N 30°36'30" E), Тягле (50°22'42" N 30°38'54" E), Алмазне (50°30'24" N 30°38'58" E), Вигурівське (50°31'30" N 30°37'48" E) і Лебедине (50°24'6" N 30°38'42" E).

На кожній водоймі відбирали по дві проби впродовж одного тижня в літній період 2020 р.

Вміст фотосинтетичних пігментів (*a*, *b*, *c*) та каротиноїдів у планктоні визначали стандартним спектрофотометричним методом з використанням відповідних рівнянь [31, 40].

Відносну частку кожного пігменту ($C_{\text{хл } a}$, %, $C_{\text{хл } b}$, %, $C_{\text{хл } c}$, %) розраховували виходячи із загальної кількості зелених пігментів та концентрації хлорофілів *a*, *b* і *c*, що визначали в одній і тій самій пробі води. Паралельно розраховували також внесок (%) кожного відділу водоростей у загальну біомасу фітопланктону.

Вміст продуктів розпаду хлорофілу *a* (феопігментів) оцінювали за допомогою рівнянь Лоренцена [36] згідно [6]. Їхню частку ($C_{\text{фео } a}$, %) визначали від суми з «чистим» хлорофілом *a* в одній і тій самій пробі води.

Пігментний індекс Маргалефа E_{480}/E_{664} та співвідношення E_{430}/E_{664} розраховували виходячи з оптичної щільності ацетонового екстракту пігментів в областях довго- і короткохвильового максимумів поглинання світла хлорофілом *a* (664 нм та 430 нм) і короткохвильових максимумів для каротиноїдів (430 нм та 480 нм) [4, 8, 13].

Співвідношення пігментів розраховували за відповідними формулами: $C_{\text{хл } a+b+c}/C_{\text{хл } a}$, $C_{\text{хл } a}/C_{\text{хл } b}$, $C_{\text{хл } b}/C_{\text{хл } a}$, $C_{\text{хл } a}/C_{\text{хл } c}$, $C_{\text{хл } c}/C_{\text{хл } a}$, $C_{\text{кар}}/C_{\text{хл } a}$, $C_{\text{хл } a}/C_{\text{фео } a}$.

Для отримання узагальнюючих характеристик даних розраховували їхні середні значення і виражали як середнє значення $\pm$ стандартна похибка ($x \pm SE$).

З метою розрахунку спектральних характеристик фітопланктону і проведення їхнього аналізу в роботі було використано опубліковані нами дані щодо вмісту фотосинтетичних пігментів (хлорофіл *a*, *b*, *c* та каротиноїди) та відносного внеску кожного відділу водоростей у загальну біомасу фітопланктону досліджуваних озер [39]. Спрямованість зв'язку (позитивний, негативний) між спектральними пігментними характеристиками фітопланктону та часткою певного відділу водоростей у їхній загальній біомасі оцінювали за допомогою кореляційного аналізу [9].

Статистичне опрацювання отриманих даних проведено за допомогою програми MS Excel 2010.

Результати досліджень та їх обговорення

Досліджені озера м. Києва помітно відрізнялись за загальною кількістю зелених пігментів ($C_{\text{хл. } a+b+c}$). При цьому правобережні водойми порівняно з лівобережними характеризувались меншою середньою концентрацією зелених пігментів та відносним вмістом хлорофілу a , а хлорофілу b і хлорофілу c — навпаки (табл. 2).

Таблиця 2

Характеристика складу фотосинтетичних пігментів фітопланктону та його біомаси в озерах м. Києва

Озера	С _{хл. a+b+c} , мкг/дм ³	Відносний вміст хлорофілів, %			Частка окремих відділів водорос- тей у загальній біомасі, %				
		a	b	c	1	2	3	4	5
Правобережні									
Богатирське	93,06±3,51	93,45	4,19	2,36	41,56	57,11	—	—	1,33
Вербне	57,82±1,55	91,62	5,15	3,23	72,60	0,56	0,04	25,37	1,43
Голубе	10,21±0,59	44,19	29,58	26,22	1,28	—	—	97,71	0,01
Йорданське	33,63±3,04	79,19	11,39	9,41	81,1	14,02	4,10	—	0,78
Кирилівське	62,19±2,99	92,01	4,64	3,35	82,99	12,33	0,09	3,60	0,99
Лугове	71,13±4,51	74,11	15,41	10,48	0,43	98,72	0,84	—	0,03
Мінське	25,39±0,28	48,42	30,75	20,83	1,79	97,36	0,18	0,57	0,10
Редьчине	24,52±0,63	66,82	19,60	13,58	48,75	4,83	1,90	42,73	1,79
Синє	7,63±0,40	44,96	32,82	22,22	—	67,46	3,32	—	29,22*
Центральне	15,49±0,20	55,75	29,24	15,01	—	93,41	6,59	—	—
Лівобережні									
Алмазне	37,09±0,85	81,30	12,00	6,69	15,57	51,07	0,70	29,45	3,21
Вигурівське	121,25±6,56	93,04	4,05	2,91	80,32	17,45	0,03	1,24	3,96
Вирлиця	14,60±0,72	59,12	38,24	2,63	—	64,35	10,06	21,64	3,95
Лебедине	69,63±0,23	78,76	11,13	10,11	2,27	88,27	1,79	3,40	4,27
Підбірна	12,94±0,23	57,49	25,05	17,46	—	12,35	80,79	3,24	3,62
Райдужне	82,64±5,24	92,72	4,10	3,18	47,28	13,53	0,34	27,63	11,22**
Сонячне	20,35±1,13	81,65	12,08	6,26	7,71	7,49	0,20	84,07	0,53
Тельбін	36,23±2,61	89,93	6,12	3,95	5,98	12,04	0,40	76,78	4,8
Тягле	88,36±6,32	91,04	5,04	3,92	78,58	4,60	5,42	8,42	2,92

Примітка: 1 — Cyanoprokaryota; 2 — Chlorophyta; 3 — Bacillariophyta; 4 — Dinophyta; 5 — інші: * Streptophyta, ** Euglenophyta; «—» — не виявлено. Відносний вміст хлорофілів a , b c та частку біомаси водоростей відділів у відсотках наведено згідно [39].

Варто зазначити, що останні виявлено у фітопланктоні всіх водойм, що є непрямым свідченням присутності водоростей, які містять хлорофіл *b* та хлорофіл *c*. Так, сумарна концентрація пігментів ($C_{\text{хл. } a+b+c}$) змінювалась від 7,63 до 93,06 мкг/дм³ у правобережних озерах, та від 12,94 до 121,25 мкг/дм³ — у лівобережних. При цьому середнє значення становило відповідно 40,11 та 53,68 мкг/дм³.

З одного боку, причиною зниження загальної кількості зелених пігментів (переважно за рахунок хлорофілу *a*) у правобережних озерах порівняно з лівобережними може бути більший антропогенний вплив на першу групу водойм, до якої належать і озера системи Опечень. Саме в цих озерах було виявлено підвищені концентрації нафтопродуктів, важких металів і хлоридів [30, 41, 44]. З іншого, це, ймовірно, обумовлено різною структурою фітопланктону досліджуваних правобережних і лівобережних озер [39], адже відомо, що різні відділи водоростей відрізняються складом фотосинтетичних пігментів [8, 13, 26].

Для виявлення зв'язку між вмістом пігментів та структурними характеристиками фітопланктону досліджуваних озер був застосований кореляційний аналіз. Встановлено, що між концентрацією хлорофілу *a* та часткою біомаси Cyanoprokaryota існує достовірна позитивна залежність ($r = 0,57$, $n = 24$, $P \leq 0,05$), а часткою біомаси Dinophyta — негативна ($r = -0,43$, $n = 26$, $P \leq 0,05$). Позитивна залежність була виявлена і між концентрацією хлорофілу *b* та часткою біомаси Chlorophyta ($r = 0,70$, $n = 38$, $P \leq 0,05$).

Під час досліджень також була встановлена достовірна позитивна залежність між концентрацією хлорофілу *c* та загальною біомасою фітопланктону ($r = 0,38$, $n = 38$, $P \leq 0,05$). В той же час, між концентрацією хлорофілу *c* та відносною часткою біомаси Dinophyta була виявлена негативна залежність ($r = -0,44$, $n = 26$, $P \leq 0,05$). Це може бути пов'язано з тим, що вміст хлорофілу *c* визначили у загальних зразках фітопланктону, який характеризувався наявністю представників різних відділів водоростей.

Спрямованість виявлених зв'язків свідчить про збільшення концентрації хлорофілу *a* при зростанні відносної частки біомаси Cyanoprokaryota, а хлорофілу *b* — відносної частки біомаси Chlorophyta. Отримані нами коефіцієнти кореляції також вказують на зниження кількості зелених пігментів за переважання у біомасі фітопланктону представників відділу Dinophyta.

На наш погляд, відсутність достовірних коефіцієнтів кореляції між зазначеними пігментами та відносними частками біомаси Bacillariophyta і Euglenophyta може бути пов'язана як з недоліками спектрофотометричного визначення додаткових пігментів, так і з неточностями при розрахунку біомаси зазначених водоростей через їхній низький вміст у пробах [20].

Аналіз змін відносного вмісту зелених пігментів ($C_{\text{хл. } a}$, %, $C_{\text{хл. } b}$, %, $C_{\text{хл. } c}$, %) засвідчив, що в усіх озерах переважав $C_{\text{хл. } a}$ (див. табл. 2). При цьому правобережні водойми, порівняно з лівобережними, характеризувались

меншими середніми значеннями $C_{\text{хл } a}$, %. Так, для першої групи озер воно складало 69,05 %, а для другої — 79,41 %.

Співставлення отриманих даних щодо $C_{\text{хл } a}$, % з таксономічною структурою фітопланктону в досліджених водоймах дозволило зробити висновок про те, що вагомий внесок (від 55,7 до 93,4 %) цього пігменту у їхній загальний фонд був у планктоні з переважанням за біомасою представників *Cyanoprokaryota* (48,7—82,9 % від загальної біомаси) (озера Вербне, Йорданське, Кирилівське, Редьчине, Вигурівське, Райдужне і Тягле), *Chlorophyta* (51,1—98,7 % від загальної біомаси) (озера Богатирське, Лугове, Центральне, Алмазне, Вирлиця і Лебедине) та *Dinophyta* (76,8—84,7 % від загальної біомаси) (озера Сонячне і Тельбін). Варто звернути увагу на той факт, що максимальне значення $C_{\text{хл } a}$, % (від 91,0 до 93,4 % від загальної кількості біомаси) було зафіксовано у фітопланктоні з переважанням за біомасою *Cyanoprokaryota* (озера Вербне, Кирилівське, Вигурівське і Тягле). Виняток становили озера Богатирське, Тельбін і Райдужне, в яких найбільший внесок $C_{\text{хл } a}$, % виявлено при домінуванні у планктоні видів інших таксономічних відділів, а саме *Chlorophyta* (57,1 % від загальної біомаси) + *Cyanoprokaryota* (41,6 %), *Dinophyta* (76,8 %) та *Cyanoprokaryota* (47,3 %) + *Dinophyta* (27,6 %) відповідно у першій, другій та третій водоймі. Отримані дані добре узгоджується з висновками про те, що високі значення $C_{\text{хл } a}$, % (більше 90 % від загального фонду зелених пігментів) в основному спостерігаються за умов переважання у фітопланктоні за біомасою представників *Cyanoprokaryota* [15, 39].

Підтвердження наявності зв'язку між відносним вмістом хлорофілів (a , b , c) та структурними характеристиками фітопланктону можуть слугувати дані кореляційного аналізу. Так, між $C_{\text{хл } a}$, % та часткою біомаси *Cyanoprokaryota* була встановлена достовірна позитивна залежність ($r = 0,48$, $n = 24$, $P \leq 0,05$), а у випадку *Chlorophyta* — вона виявилась негативною ($r = -0,56$, $n = 38$, $P \leq 0,05$). Було встановлено, що між $C_{\text{хл } b}$, % та часткою біомаси *Chlorophyta* існує позитивна залежність ($r = 0,55$, $n = 38$, $P \leq 0,05$), що опосередковано вказує на наявність у цих водоростей хлорофілу b . Також було виявлено негативну залежність між $C_{\text{хл } b}$, % і $C_{\text{хл } c}$, % та біомасою *Cyanoprokaryota*, що свідчить про відсутність зазначених хлорофілів у синьозелених водоростей.

Слід зазначити, що зв'язок між відносним вмістом $C_{\text{хл } a}$, $C_{\text{хл } b}$ і $C_{\text{хл } c}$ та загальною біомасою, а також біомасою *Bacillariophyta*, *Euglenophyta* та *Dinophyta* характеризувався низькими коефіцієнтами кореляції, що може бути обумовлено як недоліком спектрофотометричного визначення додаткових пігментів, так і помилкою при розрахунку біомаси зазначених водоростей через їхній низький вміст у пробах [20]. Відсутність достовірного кореляційного зв'язку між відносним вмістом $C_{\text{хл } a}$, $C_{\text{хл } b}$ і $C_{\text{хл } c}$ та загальною біомасою фітопланктону досліджуваних озер може бути також пов'язана з відсутністю чітко вираженого домінування представників водоростей одного з відділів, що узгоджується з даними для інших водойм [12, 38].

Варто зазначити, що спрямованість виявлених зв'язків свідчить про збільшення внеску хлорофілу *a* в загальну кількість пігментів при збільшенні у загальній біомасі частки Cyanoprokaryota, а внеску хлорофілу *b* — при переважанні у біомасі фітопланктону представників Chlorophyta.

На підставі аналізу отриманих даних щодо відносного вмісту хлорофілу *b* та хлорофілу *c* встановлено, що він також коливається в широких межах (див. табл. 2). Так, у правобережних озерах $C_{chl\ b}$ змінювався від 4,19 до 32,82 % (у середньому складав 18,28 %), у лівобережних — від 4,05 до 38,24 % (у середньому — 13,61 %), а $C_{chl\ c}$ — відповідно від 2,36 до 26,22 % (у середньому 12,67 %) та від 2,63 до 17,46 % (у середньому 6,98 %). Необхідно звернути увагу на те, що середній відносний вміст зазначених пігментів, на відміну від відносного вмісту хлорофілу *a*, був помітно меншим у лівобережних водоймах. На наш погляд, виявлені відмінності можуть бути обумовлені різним ступенем розвитку у планктоні представників відділів Chlorophyta, Bacillariophyta, Dinophyta, Streptophyta і Euglenophyta [39].

Враховуючи літературні дані, що на сьогодні для об'єктивної оцінки фізіологічного стану водоростей використовують співвідношення різних пігментних характеристик [8, 13, 19, 20, 23—25], ми проаналізувати зміни деяких із них в обстежених озерах м. Києва.

$C_{chl\ a+b+c}/C_{chl\ a}$. Відомо [37], що за допомогою цього показника можна охарактеризувати пігментну різноманітність водоростевих угруповань. Вважають [4], що для нормально функціонуючого фітопланктону його величина дорівнює 1,25—4,0. За нашими результатами, значення співвідношення $C_{chl\ a+b+c}/C_{chl\ a}$ у правобережних озерах коливались від 1,1 до 2,4 (у середньому — 1,6), а у лівобережних — від 1,1 до 1,8 (у середньому — 1,2) (рис. 1), що нижче нормальних значень.

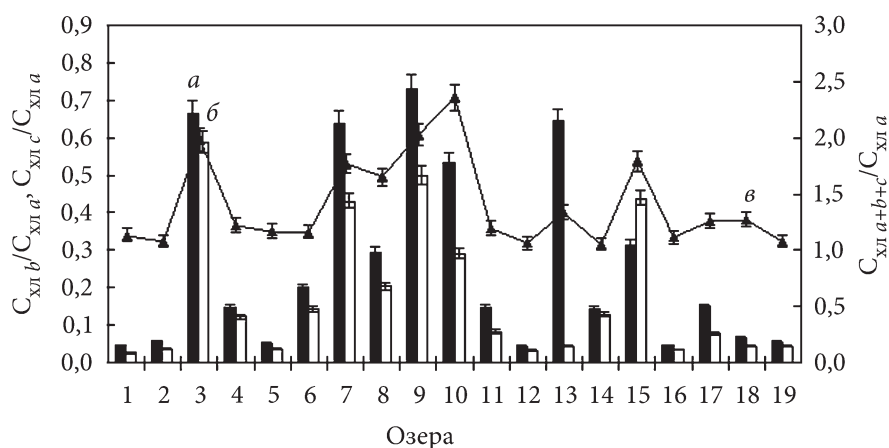


Рис. 1. Співвідношення зелених пігментів у фітопланктоні озер м. Києва: *a* — $C_{chl\ b}/C_{chl\ a}$; *б* — $C_{chl\ c}/C_{chl\ a}$; *в* — $C_{chl\ a+b+c}/C_{chl\ a}$. Тут і на рис. 2—4: 1 — Богатирське; 2 — Вербне; 3 — Голубе; 4 — Йорданське; 5 — Кирилівське; 6 — Лугове; 7 — Мінське; 8 — Редьчине; 9 — Сине; 10 — Центральне; 11 — Алмазне; 12 — Вигурівське; 13 — Вирлиця; 14 — Лебедине; 15 — Підбірна; 16 — Райдужне; 17 — Сонячне; 18 — Тельбін; 19 — Тягле

Величини співвідношення $C_{\text{хл } a+b+c}/C_{\text{хл } a} > 1,25$, які відповідають нормально функціонуючому фітопланктону, були зареєстровані для озер Голубе, Мінське, Редьчине, Синє, Центральне, Райдужне, Тельбін, Алмазне і Вигурівське. У той же час, величини $< 1,25$, які є свідченням низької пігментної різноманітності водоростевих угруповань, були характерні для таких озер, як Богатирське, Вербне, Йорданське, Кирилівське, Лугове, Вирлиця, Підбірна, Сонячне, Тягле і Лебедине (див. рис. 1).

Було встановлено, що між співвідношенням $C_{\text{хл } a+b+c}/C_{\text{хл } a}$ та біомасою *Cyanoprokaryota* існує негативна достовірна залежність ($r = -0,52$ при $n = 24$, $P \leq 0,05$), а для *Chlorophyta* — позитивна ($r = 0,37$ при $n = 38$, $P \leq 0,05$) (табл. 3).

Таблиця 3

Коефіцієнти кореляції між співвідношенням пігментних та структурних характеристик фітопланктону озер м. Києва

Частка біомаси, %	<i>n</i>	$C_{\text{хл } a+b+c}/C_{\text{хл } a}$	$C_{\text{хл } b}/C_{\text{хл } a}$	$C_{\text{хл } c}/C_{\text{хл } a}$	$C_{\text{хл } a'}/C_{\text{хл } b}$	$C_{\text{хл } a'}/C_{\text{хл } c}$	$C_{\text{кар}}/C_{\text{хл } a}$	$C_{\text{фео } a}/\%$	$C_{\text{хл } a'}/C_{\text{фео } a}$
<i>Cyanoprokaryota</i>	24	-0,52	-0,50	-0,43	0,51	0,39	0,24	-0,52	0,35
<i>Chlorophyta</i>	38	0,37	0,58	-0,24	-0,50	-0,47	-0,27	0,52	-0,37
<i>Bacillariophyta</i>	34	0,32	0,14	0,46	-0,29	-0,30	0,01	0,07	-0,15
<i>Euglenophyta</i>	34	-0,40	-0,26	0,27	-0,15	0,21	-0,07	-0,14	-0,40
<i>Dinophyta</i>	26	0,29	0,17	0,20	-0,22	-0,15	0,27	0,28	-0,09
Загальна біомаса, мг/дм ³	38	-0,21	0,00	0,00	0,06	-0,02	-0,23	0,16	-0,24

Варто зазначити, що спрямованість виявлених зв'язків свідчить про зменшення пігментної різноманітності планктонних угруповань водоростей за переважання у їхній біомасі *Cyanoprokaryota*, а збільшення — за домінування *Chlorophyta*.

У той же час, між цим показником та біомасою *Bacillariophyta* і *Dinophyta* достовірний кореляційний зв'язок не виявлено. Його відсутність може бути обумовлена недоліками спектрофотометричного визначення додаткових пігментів та помилками при розрахунку біомаси зазначених водоростей через їхній низький вміст у пробах [20].

$C_{\text{хл } b}/C_{\text{хл } a}$ та $C_{\text{хл } c}/C_{\text{хл } a}$. За допомогою цих співвідношень також можна характеризувати таксономічну різноманітність фітопланктону та його кількісний розвиток [20, 24]. Вважають, якщо $C_{\text{хл } b}/C_{\text{хл } a} > C_{\text{хл } c}/C_{\text{хл } a}$, то провідне положення у фітопланктоні займають відділи *Chlorophyta* і *Cyanoprokaryota*, а якщо відношення $C_{\text{хл } b}/C_{\text{хл } a} < C_{\text{хл } c}/C_{\text{хл } a}$, то основу угруповань складають *Bacillariophyta*. Одержані нами дані засвідчили, що для усіх обстежених правобережних і більшості лівобережних озер величина співвідношення $C_{\text{хл } b}/C_{\text{хл } a} > C_{\text{хл } c}/C_{\text{хл } a}$ (див. рис. 1).

Це опосередковано вказує на те, що у планктоні більшості досліджуваних водойм переважали *Chlorophyta* і *Cyanoprokaryota*. Тільки в

оз. Підбірна. величина співвідношення $C_{chl\ c}/C_{chl\ a}$ була більшою за співвідношення $C_{chl\ b}/C_{chl\ a}$ (0,44 проти 0,31), що свідчить про значний внесок у видове різноманіття угруповань водоростей представників інших відділів. Це узгоджується з нашими попередніми даними [39] про те, що вагому частку у загальній біомасі фітопланктону правобережних і більшості лівобережних озер складали Chlorophyta і Cyanoprokaryota, а в оз. Підбірна — Bacillariophyta.

Підтвердженням зв'язку між показником $C_{chl\ b}/C_{chl\ a}$ та відносною часткою біомаси Chlorophyta і Cyanoprokaryota можуть бути отримані нами коефіцієнти кореляції. Так встановлено, що між співвідношенням $C_{chl\ b}/C_{chl\ a}$ та відносною часткою біомаси Chlorophyta існує достовірна позитивна залежність ($r = 0,58$ при $n = 38$, $P \leq 0,05$), а відносною часткою біомаси Cyanoprokaryota — негативна ($r = -0,50$ при $n = 24$, $P \leq 0,05$) (див. табл. 3). Спрямованість виявлених зв'язків свідчить про переважання у біомасі фітопланктону Chlorophyta.

У той же час між показником $C_{chl\ c}/C_{chl\ a}$ та відносною часткою біомаси Chlorophyta достовірної кореляції не виявлено, тоді як для Cyanoprokaryota вона була негативною ($r = -0,43$ при $n = 24$, $P \leq 0,05$). Варто відмітити, що між співвідношеннями $C_{chl\ b}/C_{chl\ a}$ і $C_{chl\ c}/C_{chl\ a}$ та відносними частками біомаси Euglenophyta і Dinophyta не встановлена достовірна залежність.

$C_{chl\ a}/C_{chl\ b}$ та $C_{chl\ a}/C_{chl\ c}$. Відомо, що з допомогою цих показників можна характеризувати фотосинтетичну активність водоростей [28]. Зменшення величини цих співвідношень вказує на те, що у планктоні водойм присутня помітна кількість детриту або спостерігається «старіння» угруповань водоростей.

У нашому випадку величина співвідношення $C_{chl\ a}/C_{chl\ b}$ знаходилась у межах 1,4—22,3 (у середньому — 8,1) для правобережних озер та коливалась від 1,5 до 23,0 (у середньому — 11,4) — для лівобережних озер. При цьому найменші значення зареєстровано для фітопланктону озер Синє і Голубе, а найбільші — для озер Богатирське, Вербне, Кирилівське, Вигурівське, Райдужне, Тягле і Тельбін (рис. 2).

Згідно отриманих нами даних, величина співвідношення $C_{chl\ a}/C_{chl\ c}$ змінювалась від 1,7 до 39,6 (складаючи у середньому 12,5) та від 3,3 до 32,1 (у середньому — 18,5) відповідно для фітопланктону правобережних і лівобережних озер. При цьому, найменші значення також зареєстровано для озер Синє і Голубе, а найбільші — для озер Богатирське, Вербне, Кирилівське, Вигурівське, Райдужне, Тягле і Тельбін (див. рис 2).

Виявлені відмінності у значенні середніх величин співвідношень $C_{chl\ a}/C_{chl\ b}$ та $C_{chl\ a}/C_{chl\ c}$ (у правобережних менші, ніж у лівобережних), на наш погляд, обумовлені тим, що правобережні водойми, до яких належать і озера системи Опечень, зазнають більшого антропогенного впливу, ніж лівобережні, що узгоджується з даними літератури [30, 41].

Співставлення отриманих даних щодо співвідношень $C_{chl\ a}/C_{chl\ b}$ та $C_{chl\ a}/C_{chl\ c}$ дозволило зробити певні висновки про те, що фотосинтетична активність водоростей досліджуваних озер у більшості випадків співпадає (див. рис. 2). Підтвердженням цього був отриманий достовірний по-

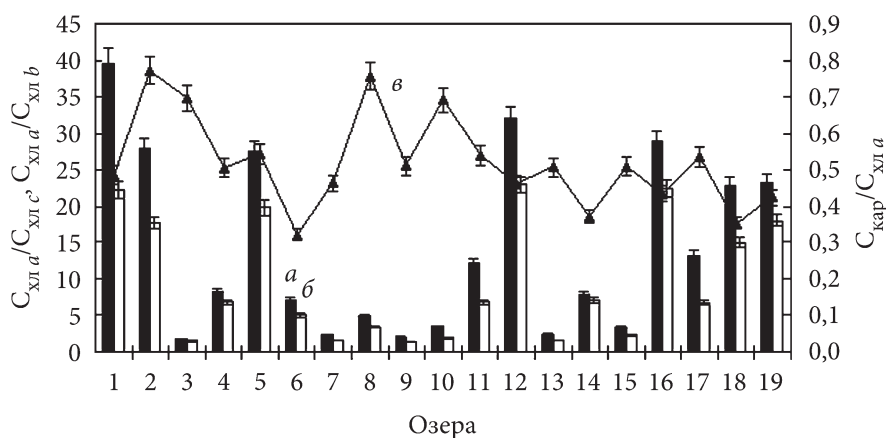


Рис. 2. Співвідношення зелених пігментів та каротиноїдів у фітопланктоні озер м. Києва: *a* — $C_{chl\ a} / C_{chl\ c'}$; *б* — $C_{chl\ a} / C_{chl\ b}$; *в* — $C_{кар} / C_{chl\ a}$

зитивний коефіцієнт кореляції між величинами співвідношення $C_{chl\ a} / C_{chl\ b}$ та $C_{chl\ a} / C_{chl\ c}$ ($r = 0,79$, $n = 38$, $P \leq 0,05$).

Порівняльний аналіз зв'язку між співвідношенням $C_{chl\ a} / C_{chl\ b}$ та відносною часткою біомаси Cyanoprokaryota дозволив виявити достовірну позитивну залежність між цими показниками ($r = 0,51$ при $n = 24$, $P \leq 0,05$), тоді як у випадку Chlorophyta ця залежність була негативною ($r = -0,50$, $n = 38$, $P \leq 0,05$). Подібна залежність була встановлена між співвідношенням $C_{chl\ a} / C_{chl\ c}$ та відносною часткою біомаси Chlorophyta ($r = -0,47$, $n = 38$, $P \leq 0,05$). Тут варто зазначити, що між цими показниками та відносною часткою біомаси Bacillariophyta, Euglenophyta і Dinophyta достовірний кореляційний зв'язок не був виявлений (див. табл. 3).

Спрямованість виявлених зв'язків свідчить про збільшення фотосинтетичної активності водоростей з переважанням у планктоні Cyanoprokaryota та зменшення у ньому відносної кількості Chlorophyta.

$C_{кар} / C_{chl\ a}$. Відношення каротиноїдів до хлорофілу *a* — ще одна характеристика, яка дозволяє судити про фізіологічний стан водоростей [21]. Цей показник опосередковано вказує на ресуспензію каротиноїдів з донних відкладів, що містять водоростевий детрит, а високі його значення характеризують «старіння» популяції [8]. Це зумовлено тим, що каротиноїди — стабільніший компонент пігментної системи, ніж хлорофіл *a*, тому при «старінні» популяцій водоростей та за дії несприятливих чинників середовища, які викликають деструкцію хлорофілу *a*, співвідношення $C_{кар} / C_{chl\ a}$ зростає [3, 7].

У результаті проведених досліджень було виявлено, що значення цього показника коливались у широких межах. Так, для правобережних озер величина $C_{кар} / C_{chl\ a}$ змінювалась від 0,3 до 0,8 (в середньому — 0,6), а для лівобережних — від 0,3 до 0,5 (в середньому — 0,5). Варто зазначити, що найменші величини $C_{кар} / C_{chl\ a}$ були характерні для озер Лугове, Лебе-

динське, Тельбін, а найбільші — для озер Центральне, Голубе, Редьчине, Вербне. Раніше такі величини $C_{кар}/C_{хл\ a}$ були відмічені і для інших водойм [3, 7].

Більші величини співвідношення $C_{кар}/C_{хл\ a}$ для фітопланктону правобережних озер порівняно з лівобережними, ймовірно, обумовлені значнішим антропогенним впливом на першу групу водойм, про що вже було зазначено. Подібна картина спостерігалась і при дослідженні ставків дендропарку «Олександрія» [35]. Авторами було відмічено, що найбільші величини співвідношення $C_{кар}/C_{хл\ a}$ були характерні для ставків зі значнішим антропогенним забрудненням.

Варто звернути увагу на те, що правобережні та лівобережні озера за середньою величиною співвідношення $C_{кар}/C_{хл\ a}$ відрізнялись менше, ніж за показниками $C_{хл\ a}/C_{хл\ c}$ і $C_{хл\ a}/C_{хл\ b}$. Співставлення отриманих даних щодо співвідношень $C_{кар}/C_{хл\ a}$, $C_{хл\ a}/C_{хл\ b}$ і $C_{хл\ a}/C_{хл\ c}$ свідчить про те, що характеристика фізіологічного стану водоростей за цими показниками не завжди співпадає (див. рис. 2). Підтвердженням цьому була відсутність достовірних коефіцієнтів кореляції між співвідношеннями $C_{кар}/C_{хл\ a}$ та $C_{хл\ a}/C_{хл\ b}$ і $C_{хл\ a}/C_{хл\ c}$, а також між співвідношенням $C_{кар}/C_{хл\ a}$ та відносною часткою біомаси відмічених відділів водоростей (див. табл. 3). На нашу думку, це може бути обумовлено, з одного боку, тим, що досліджувані озера належать до евтрофних водойм [39], які характеризуються достатньою забезпеченістю біогенними елементами [25] і, відповідно, кращим фізіологічним станом клітин водоростей за цих умов. З іншого боку, спектрофотометричний метод визначення пігментів дозволяє отримувати лише орієнтовні дані про загальну кількість жовтих пігментів, що мало характеризує таксономічний склад фітопланктону [20].

Індекс E_{480}/E_{664} та E_{430}/E_{664} (індекс Маргалефа). Зазначені показники, так як і $C_{кар}/C_{хл\ a}$, характеризують співвідношення вмісту загальних каротиноїдів і хлорофілу *a*. Вважається, що підвищення значень цих індексів свідчить про погіршення фізіологічного стану фітопланктону і збільшення його пігментної різноманітності [4, 8, 13]. За нашими даними, середні значення індексу E_{480}/E_{664} становили 1,7 і 1,4, а індексу E_{430}/E_{664} — 2,7 і 2,4 відповідно для фітопланктону правобережних та лівобережних озер (рис. 3). Як бачимо, величини зазначених індексів, як і співвідношення $C_{кар}/C_{хл\ a}$, були меншими у другій групі водойм порівняно з першою.

Співставлення отриманих даних свідчать про те, що спрямованість змін цих індексів в цілому співпадають зі змінами величин співвідношення $C_{кар}/C_{хл\ a}$. Підтвердженням цього можуть бути розраховані нами коефіцієнти кореляції між співвідношенням $C_{кар}/C_{хл\ a}$ та зазначеними індексами. Так, між співвідношенням $C_{кар}/C_{хл\ a}$ та індексом E_{480}/E_{664} встановлена достовірна позитивна залежність ($r = 0,98$ при $n = 38$, $P \leq 0,05$). Така сама залежність, але помірніша, була характерна для індексу E_{430}/E_{664} ($r = 0,55$ при $n = 38$, $P \leq 0,05$).

У той же час між індексом E_{430}/E_{664} , який, як і відношення $C_{кар}/C_{хл\ a}$, характеризує співвідношення загальних каротиноїдів і хлорофілу *a*, також

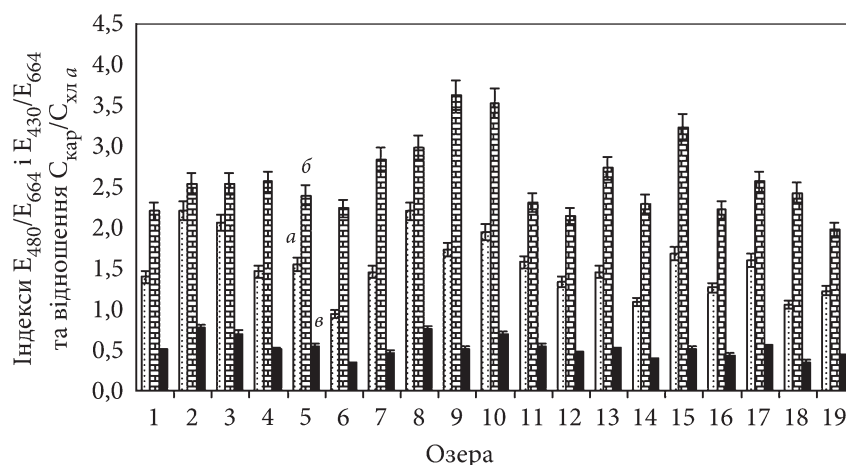


Рис. 3. Індекси E_{480}/E_{664} (а), E_{430}/E_{664} (б) та співвідношення каротиноїдів і хлорофілу а ($C_{кар}/C_{хл\ a}$) у фітопланктоні озер м. Києва

була встановлена достовірна позитивна залежність ($r = 0,49$ при $n = 38$, $P \leq 0,05$).

Співставлення отриманих величин індексів E_{480}/E_{664} та E_{430}/E_{664} зі структурними характеристиками фітопланктону свідчить про те, що між індексом E_{480}/E_{664} і відносною часткою біомаси Euglenophyta існує достовірна негативна залежність ($r = -0,40$ при $n = 26$, $P \leq 0,05$). Натомість між індексом E_{430}/E_{664} і відносною часткою біомаси Euglenophyta виявлена достовірна позитивна залежність ($r = 0,98$ при $n = 34$, $P \leq 0,05$). Така сама залежність, але помірніша, встановлена і у випадку Bacillariophyta ($r = 0,37$ при $n = 34$, $P \leq 0,05$). Спрямованість виявлених зв'язків свідчить про збільшення значень індексу E_{430}/E_{664} зі зростанням частки Euglenophyta у загальній біомасі фітопланктону.

Феопігменти ($C_{фео\ a}$, %) та $C_{хл\ a}/C_{фео\ a}$. Ще однією характеристикою фізіологічного стану фітопланктону є вміст феопігментів (феофітину) та його співвідношення з хлорофілом а ($C_{хл\ a}/C_{фео\ a}$): якщо його значення менше одиниці, то це свідчить про відмирання і розпад клітин водоростей [2]. Ці процеси супроводжуються руйнуванням хлорофілу, втратою йону Mg та утворенням феопігментів.

Аналіз значень відсоткового вмісту феопігментів ($C_{фео\ a}$, %) показав, що його кількість у фітопланктоні правобережних озер коливалась від 25,8 до 75,6 % (в середньому — 53,9 %), а у фітопланктоні лівобережних озер — в межах 7,6—61,3 % (в середньому — 41,3 %) (рис. 4). Найбільшим вмістом феопігментів характеризувались такі озера, як Мінське, Лугове, Синє, де він складав більше 70 %, тоді як в озерах Богатирське, Йорданське, Редьчине, Алмазне, Вигурівське, Тельбін вміст феопігментів не перевищував 40 %.

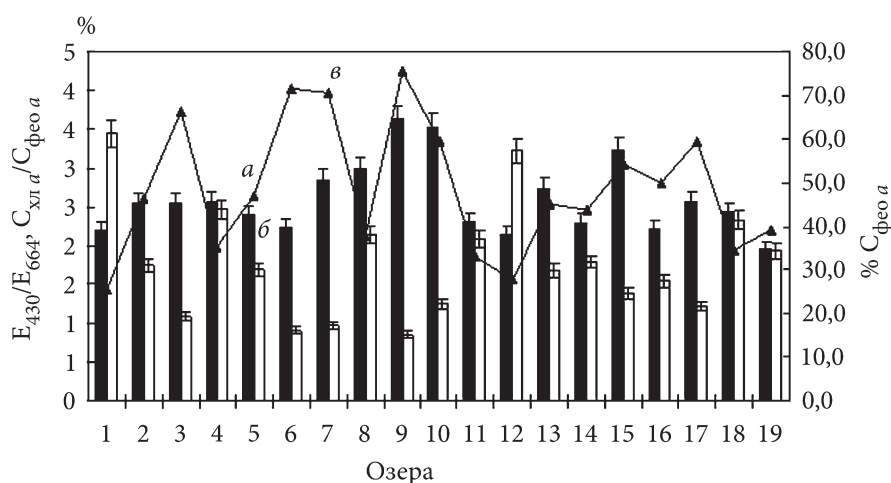


Рис. 4. Пігментний індекс E_{430}/E_{664} (а), вміст феопігментів (б) та співвідношення хлорофілу а до феопігментів ($C_{chl\ a}/C_{pheo\ a}$) (в) у фітопланктоні озер м. Києва

Величини співвідношення $C_{chl\ a}/C_{pheo\ a}$ у досліджуваних водоймах в основному були більше одиниці (див. рис. 4), що характеризує альгоутрупування як «нормально функціонуючі» [3, 16]. Лише в озерах Мінське, Лугове та Синє значення цього показника було менше одиниці (0,87—0,98), що побічно вказує на переважання процесів відмирання і розкладу клітин водоростей у товщі води цих водойм [2, 3, 16].

Необхідно відмітити, що низькі значення співвідношення $C_{chl\ a}/C_{pheo\ a}$ спостерігались в озерах з високим відсотковим вмістом феопігментів. Підтвердженням цього зв'язку між зазначеними показниками є достовірна негативна залежність ($r = -0,93$ при $n = 38$, $P \leq 0,05$).

Отримані дані узгоджуються з екологічною оцінкою якості води деяких з досліджуваних озер [29]. Так, за рівнем токсичності екологічний стан озер Мінське та Лугове, у яких кількість $C_{pheo\ a}$ була більшою 70 %, співвідношення $C_{chl\ a}/C_{pheo\ a} < 1$, є відповідно задовільним та поганим. У той же час екологічний стан озер Богатирське та Йорданське, у яких вміст феопігментів не перевищував 40 %, а співвідношення $C_{chl\ a}/C_{pheo\ a}$ було більше одиниці, є добрим.

Для оцінки зв'язку між $C_{chl\ a}/C_{pheo\ a}$ і $C_{pheo\ a}$, % та структурними характеристиками фітопланктону досліджуваних нами озер був проведений кореляційний аналіз. Виявилось, що між $C_{pheo\ a}$, % та відносною часткою біомаси Chlorophyta існує достовірна позитивна залежність ($r = 0,52$ при $n = 36$, $P \leq 0,05$), а у випадку Cyanoprokaryota вона була негативною ($r = -0,52$ при $n = 24$, $P \leq 0,05$). Спрямованість виявлених зв'язків свідчить про збільшення значень $C_{pheo\ a}$, % зі зростанням частки Chlorophyta у біомасі фітопланктону.

Порівняльний аналіз показав, що між співвідношенням $C_{chl\ a}/C_{pheo\ a}$ та біомасою Chlorophyta наявна достовірна негативна залежність ($r = -0,37$,

$n = 38, P \leq 0,05$). Така сама залежність була встановлена і для біомаси Euglenophyta ($r = -0,40, n = 34, P \leq 0,05$). Спрямованість виявленого зв'язку свідчить про зменшення значень співвідношення $C_{\text{хл } a}/C_{\text{фео } a}$, які відмічаються при відмиранні та розкладанні планктонних водоростей із зростанням у біомасі фітопланктону частки Chlorophyta і Euglenophyta.

Враховуючи думку низки авторів [4, 8, 13, 14, 18, 19] про те, що за змінами пігментних індексів та вмістом феопігментів можна характеризувати розвиток фітопланктону (при його високій кількості значення пігментних індексів і відносний вміст феопігментів знижуються за рахунок присутності у планктоні життєздатних і активних клітин водоростей), ми провели кореляційний аналіз для виявлення зв'язку між цими показниками. Було встановлено, що тільки між пігментним індексом E_{430}/E_{664} та вмістом $C_{\text{фео } a}$, % існує достовірна позитивна залежність ($r = 0,52, n = 38, P \leq 0,05$). Це свідчить про те, що індекс E_{430}/E_{664} , порівняно з індексом E_{480}/E_{664} , є більш інформативним показником фізіологічного стану клітин водоростей.

Висновки

Отримані результати засвідчили, що досліджені озера м. Києва помітно відрізняються за загальним вмістом хлорофілів ($C_{\text{хл. } a+b+c}$) та значеннями спектральних характеристик фітопланктону. При цьому правобережні озера, порівняно з лівобережними, характеризувались меншими середніми значеннями загальної кількості пігментів, відносного вмісту хлорофілу a і співвідношень $C_{\text{хл } a+b+c}/C_{\text{хл } a}$, $C_{\text{хл } a}/C_{\text{хл } b}$, $C_{\text{хл } a}/C_{\text{хл } c}$, $C_{\text{хл } b}/C_{\text{хл } c}$, $C_{\text{хл } a}/C_{\text{фео } a}$ та більшим середнім відносним вмістом хлорофілу b , хлорофілу c та співвідношень $C_{\text{хл } b}/C_{\text{хл } a}$, $C_{\text{хл } c}/C_{\text{хл } a}$, $C_{\text{кар}}/C_{\text{хл } a}$, E_{430}/E_{664} і E_{480}/E_{664} .

Встановлено, що зміни зазначених показників у досліджуваних водоймах корелюють зі змінами біомаси окремих відділів водоростей. Відсутність у деяких випадках достовірних коефіцієнтів кореляції між ними може бути обумовлена, з одного боку, недоліками спектрофотометричного визначення додаткових пігментів, а з іншого — неточністю розрахунків біомаси деяких водоростей через їхній низький вміст у пробах.

Серед досліджуваних пігментних характеристик фітопланктону співвідношення хлорофілів, а саме $C_{\text{хл } a+b+c}/C_{\text{хл } a}$, $C_{\text{хл } b}/C_{\text{хл } a}$ та $C_{\text{хл } c}/C_{\text{хл } a}$, можна використовувати для оцінки таксономічного різноманіття планктону, а співвідношення $C_{\text{хл } a}/C_{\text{хл } b}$, $C_{\text{хл } a}/C_{\text{хл } c}$ — для оцінки фізіологічного стану водоростей. Індекс E_{480}/E_{664} та співвідношення $C_{\text{кар}}/C_{\text{хл } a}$ є інформативним як для оцінки фізіологічного стану клітин, так і для екологічної оцінки якості води. Вміст хлорофілу a у планктоні слід розглядати як самостійний екологічний показник, що віддзеркалює швидше трофічний статус водойм та продукційні можливості фітопланктону, ніж біомасу водоростей, що узгоджується з висновками інших дослідників.

Відсотковий вміст феопігментів ($C_{\text{фео } a}$, %) та співвідношення $C_{\text{хл } a}/C_{\text{фео } a}$ можна використовувати для оцінки екологічного стану водойм.

Список використаної літератури

1. Батог С.В. Еколого-гідрологічна характеристика водойм м. Києва : автореф. дис. ... канд. геогр. наук. Київ, 2018. 20 с.
2. Белая С.А., Христофорова Н.К. Фотосинтетические пигменты водорослей перифитона в водотоках Сихотэ-Алинского биосферного заповедника. Чтения памяти В.Я. Леванидова. 2011. Вып. 5. С. 53—60.
3. Бриттон Г. Биохимия природных пигментов. Москва : Мир, 1986. 422 с.
4. Бульон В.В. Первичная продукция и трофическая классификация водоемов. Изучение первичной продукции планктона внутренних водоемов. Санкт-Петербург : Гидрометеиздат, 1993. С. 147—158.
5. Винберг Г.Г. Первичная продукция водоемов. Минск, 1960. 329 с.
6. ГОСТ 17.1.04.02.90. Вода. Методика спектрофотометрического определения хлорофилла-а. Москва : Изд-во стандартов, 1990. 14 с.
7. Елизарова В.А., Пырина И.Л., Гецен М.В. Содержание пигментов фитопланктона в водах Харбейских озер. Продуктивность озер восточной части Большеземельской тундры. Ленинград : Наука, 1976. С. 55—63.
8. Ермолаев В.И. Фитопланктон водоемов бассейна озера Сартлан. Новосибирск : Наука, 1989. 96 с.
9. Зайцев Г.Н. Математическая статистика в экспериментальной ботанике. Москва : Наука. 1984. 423 с.
10. Ключенко П.Д., Медведь В.О., Горбунова З.Н. та ін. Оцінка стану екосистеми оз. Центральне (м. Київ). *Современные проблемы гидробиологии. Перспективы, пути и методы исследований*: Сб. тр. междунар. науч. конф. (24—27 июля 2006 г., Херсон). Херсон, 2006. С. 82—86.
11. Ключенко П.Д., Медведь В.О., Горбунова З.Н. та ін. Оцінка екологічного стану безстічних озер м. Києва. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2010. Т. 2 (19). С. 168—174.
12. Медведь В.А. Влияние азотсодержащих соединений воды на пигментные характеристики фитопланктона : автореф. дис... канд. биол. наук. Киев, 1990. 18 с.
13. Минеева Н.М. Растительные пигменты в воде Волжских водохранилищ. Москва : Наука, 2004. 156 с.
14. Минеева Н.М. Содержание фотосинтетических пигментов в водохранилищах Верхней Волги (1994—2003 гг.). *Биология внутр. вод*. 2006. № 1. С. 31—40.
15. Минеева Н.М., Метелева Н.Ю. Сравнительная характеристика продуктивности фитопланктона и эпифитона водохранилищ верхней Волги. *Там же*. 2019. № 2. С. 33—41.
16. Руководство по гидробиологическому мониторингу пресноводных экосистем. Санкт-Петербург : Гидрометеиздат, 1992. С. 164—173.
17. Сигарева Л.Е. Хлорофилл в донных отложениях волжских водоемов. Москва : Тов-во науч. изданий КМК, 2012. 224 с.
18. Сигарева Л.Е., Ляшенко О.А. Пигментные характеристики фитопланктона озера Неро. Современное состояние экосистемы озера Неро. Рыбинск, 1991. ИБВВ АН СССР. С. 32—53.
19. Сигарева Л.Е., Ляшенко О.А. Значимость пигментных характеристик фитопланктона при оценке качества воды. *Водные ресурсы*. 2004. Т. 31, № 4. С. 475—480.
20. Сиделев С.И., Бабаназарова О.В. Анализ связей пигментных и структурных характеристик фитопланктона высокоэвтрофного озера. *Журнал Сиб. федерал. ун-та. Биология*. 2008. Т. 2, № 1. С. 162—177.
21. Сиренко Л.А. Физиологические основы размножения синезеленых водорослей в водохранилищах. Киев : Наук. думка, 1972. 202 с.
22. Сластина Ю.Л. Состав и содержание пигментов фитопланктона Выгодско-Ондского водохранилища в летний период. *Изв. Самар. науч. центра РАН*. 2010. Т. 12, № 1 (4). С. 970—973.

23. Смольская О.С. Пигментные индексы, содержание сестоны и хлорофилла *a* в русловых и зарегулированных участках р. Свислочь в районе г. Минска. Биологическая осень-2017: к Году науки в Беларуси: тез. докл. Междунар. науч. конф. молодых ученых (9 нояб. 2017 г., Минск). Минск, 2017. С. 218—220.
24. 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.
25. Станиславская Е.В. Пигментные характеристики перифитона озерно-речных систем урбанизированных территорий. *Изв. Самар. науч. центра РАН*. 2016. Т. 18, № 2 (2). С. 502—506.
26. Топачевский А.В., Масюк Н.П. Пресноводные водоросли Украинской ССР. Киев: Вища шк., 1984. 336 с.
27. Трифонова И.С. Экология и сукцессия озерного фитопланктона. Ленинград: Наука, 1990. 184 с.
28. Яворская Н.М., Климин М.А. Содержание фотосинтетических пигментов в водорослях перифитона малых рек заказника «Хехцирский» (Хабаровский край). Чтения памяти В.Я. Леванидова. 2019. Вып. 8. С. 190—197.
29. Goncharova M.T., Kipnis L.S., Konovets I.M. et al. Ecological assessment of water and sediments quality of the Opechen Lakes system (Kyiv). *Hydrobiol. J.* 2020. Vol. 56, N 4. P. 71—83.
30. Gorbatiuk L.O., Pasichna O.O., Platonov M.O. et al. Assessment of the current level of pollution of the lakes of Kyiv by petroleum hydrocarbons. *Ibid.* 2021. Vol. 57, N 3. P. 95—101.
31. 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.
32. 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.
33. 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.
34. Klochenko P.D., Shevchenko T.F., Kharchenko G.V. Structural and functional organization of phytoplankton in the thickets and in the sections free of vegetation in the lakes of Kiev. *Ibid.* 2015. Vol. 51, N 3. P. 45—60.
35. 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.
36. Lorenzen C.J. Determination of chlorophyll and phaeopigments: spectrophotometric equations. *Limnol. Oceanogr.* 1967. Vol. 12. P. 343—346.
37. Margalef R. Valeur indicatrice de la composition des pigment du phytoplankton sur la productivite, composition taxonomique et proprietes dynamiques des populations. Rapp. et process — verbaux reunions. Commiss. Intern. Explorat Sci. Mer. Mediterranee. 1960. V. 15 (2). 2. P. 277—281.
38. 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.
39. Medved' V.A., Kharchenko G.V. Pigment and quantitative indices of phytoplankton of megapolis lakes and assessment of their trophic status. *Ibid.* 2022. Vol. 58, N 3. P. 54—67.
40. Parsons T.R., Strickland J.D.H. Discussion of spectrophotometric determination of marine-plant pigments and carotinoids. *J. Marine. Res.* 1963. Vol. 21, N 3. P. 155—163.
41. Pasichna O.O., Gorbatiuk L.O., Platonov M.O. et al. Peculiarities of accumulation of heavy metals by aquatic macrophytes of the lakes of Kyiv and assessment of their bioremediation capacity. *Hydrobiol. J.* 2021. Vol. 57, N 4. P. 64—74.

42. Shcherbak V.I., Semenyuk N.Ye. Use of phytoplankton for the assessment of the ecological state of water bodies of the megapolis according to the EU Water Framework Directive — WED (2000/60/Ec). *Ibid.* 2009. Vol. 45, N 2. P. 24—34.

43. Shcherbak V.I., Sirenko L.A., Semenyuk N.Ye. Chlorophyll *a* content in phytoplankton of water bodies of urban territories. *Ibid.* 2007. Vol. 43, N 5. P. 64—78.

44. Shevchenko T.F., Klochenko P.D., Kharchenko G.V., Gorbunova Z.N. Phytoepiphyton of megalopolis lakes under conditions of anthropogenic influence. *Ibid.* 2021. Vol. 57, N 4. P. 48—63.

Надійшла 15.08.2022

V.A. Medved, PhD (Biol.), Researcher, Senior researcher,
Institute of Hydrobiology of the NAS of Ukraine,
Volodymyra Ivasyuka prosp., 12, Kyiv, 04210, Ukraine
e-mail: vika_med@i.ua

SPECTRAL PIGMENT INDEX FOR PHYTOPLANKTON LAKE OF KYIV

The robot has a different pigmentary characteristics ($C_{chl\ a + b + c}/C_{chl\ a}$, $C_{chl\ b}/C_{chl\ a}$, $C_{chl\ c}/C_{chl\ a}$, $C_{chl\ a}/C_{chl\ b}$, $C_{chl\ a}/C_{chl\ c}$, $C_{pheo\ a}\%$, $C_{chl\ a}/C_{pheo\ a}$, $C_{cat}/C_{chl\ a}$, E_{480}/E_{664} and E_{430}/E_{664}) to phytoplankton in 19 lake systems that are planted in the boundaries of the Kiev metro and are challenged for the adventures, hydrological minds and the stage of anthropogenic ambition. It is set that the changes of pigmental descriptions correlate the structures of phytoplankton with changes. The noted indexes can be used for the estimation of structure of algal communities, physiology state of water-plants, them quantitative development and ecological state of reservoirs.

Keywords: lake of Kiev, phytoplankton, chlorophyll abundance (*a*, *b*, *c*), carotenoids, pheopigments, pigment indexes