

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

ПІГМЕНТНІ ПОКАЗНИКИ ФІТОПЛАНКТОНУ ВОДОЙМ НАЦІОНАЛЬНОГО ПРИРОДНОГО ПАРКУ «ГОЛОСІЇВСЬКИЙ» (УКРАЇНА) ТА ОЦІНКА ЇХНЬОГО ТРОФІЧНОГО СТАТУСУ

Досліджено пігментні характеристики ($C_{chl.a+b+c}/C_{chl.a}$, $C_{chl.b}/C_{chl.a}$, $C_{chl.c}/C_{chl.a}$, $C_{chl.a}/C_{chl.b}$, $C_{chl.a}/C_{chl.c}$, $C_{pheo.a}$, %, $C_{chl.a}/C_{pheo.a}$, $C_{car}/C_{chl.a}$, індекс Маргалефа E_{430}/E_{664} та пігментне співвідношення E_{480}/E_{664} , E_{430}/E_{665}) фітопланктону 12 ставків Національного природного парку «Голосіївський» (Київ, Україна), які відрізняються за ступенем антропогенного забруднення. Встановлено, що фітопланктон Горіховатських ставків, порівняно із Дідорівськими та Китаївськими ставками, характеризувався більшими середніми величинами загальної кількості пігментів, відносного вмісту хлорофілу а та b і співвідношень $C_{chl.a}/b$ і $C_{chl.a}/c$ та меншими середніми значеннями відносного вмісту хлорофілу c, співвідношень $C_{chl.a+b+c}/C_{chl.a}$, $C_{chl.c}/C_{chl.a}$, $C_{chl.a}/C_{chl.b}$, $C_{chl.a}/C_{pheo.a}$, $C_{car}/C_{chl.a}$, індексу Маргалефа E_{430}/E_{664} та пігментного співвідношення E_{430}/E_{665} , тоді як середні величини співвідношення $C_{chl.b}/C_{chl.a}$ були майже однаковими в усіх досліджуваних системах ставків. Середнє значення пігментного співвідношення E_{480}/E_{664} було найменшим у Дідорівських ставках, а найбільшим — у Китаївських ставках. За вмістом хлорофілу а усі обстежені ставки можна віднести до евтрофного типу, а за біомасою планктонних водоростей — переважно більшість досліджуваних водойм (75 %).

Ключові слова: фітопланктон, спектральні пігментні характеристики, ставки, Національний природний парк «Голосіївський».

Високий рівень антропогенного навантаження на водойми призводить до значних перебудов в їхніх екосистемах. Найвиразніше негативні наслідки антропогенного впливу проявляються у водних об'єктах, розташованих у великих містах. Досить швидко і чутливо на зміни водного се-

Ц и т у в а н н я: Медведь В.О., Харченко Г.В. Пігментні показники фітопланктону водойм Національного природного парку «Голосіївський» (Україна) та оцінка їхнього трофічного статусу. *Гідробіол. журн.* 2026. Т. 62, № 3. С. 55—71.

редовища реагує фітопланктон [5]. Його пігментні характеристики останнім часом широко використовуються як при біоіндикації стану водойм, так і при оцінці їхньої продуктивності та якості води [12, 18, 21, 22, 30, 32, 37, 38].

Значення пігментних характеристик водоростей для визначення стану водойм зумовлено безпосередньою участю рослинних пігментів в процесі фотосинтезу, а також взаємозв'язком їх синтезу із концентрацією біогенних речовин у воді [11, 36].

За співвідношенням хлорофілів (*a*, *b* і *c*) і каротиноїдів оцінюють також кількісний розвиток угруповань водоростей, їхню таксономічну структуру та фізіологічний стан [12, 15, 26, 37—40, 43, 44].

Відомо, що зміни пігментних характеристик фітопланктону пов'язані і з трофічним рівнем водойм [3, 25, 38]. Вони зберігають свою спрямованість в процесі сезонних і багаторічних сукцесій альгоугруповань [21, 26].

Метою даної роботи було з'ясування особливостей спектральних пігментних характеристик фітопланктону ставків Національного природного парку (НПП) «Голосіївський» та використання зазначених показників для оцінки фізіологічного стану водоростей і трофічного статусу водойм.

Матеріал і методика досліджень

Об'єктом досліджень слугували водойми НПП «Голосіївський», а саме Горіховатські ставки (на р. Горіховатка), Дідорівські ставки (на Дідорівському струмку) та Китаївські ставки (на Китаївському струмку), що зазнають антропогенного забруднення [29] та значного рекреаційного навантаження [31]. Кожний із каскадів складається із чотирьох з'єднаних між собою штучно створених водойм загальною площею відповідно 5,0, 10,3 і 4,3 га [33]. Глибина ставків у центральній частині коливається від 0,5—1,0 до 2,0—3,0 м, а їхнє живлення відбувається переважно за рахунок джерельної води та атмосферних опадів [30, 31]. Карту-схему водойм парку наведено у роботі [29].

Спостереження за розвитком водоростей планктону та визначення в ньому вмісту фотосинтетичних пігментів проводили у червні 2024 р. В роботі також використано деякі дані щодо пігментів та фітопланктону зазначених водойм, опубліковані нами раніше [30].

Проби фітопланктону відбирали за допомогою батометра Рутнера. Камеральне опрацювання альгологічного матеріалу проводили з використанням загальноприйнятих методик [24].

Вміст фотосинтетичних пігментів хлорофілу *a*, *b*, *c* та каротиноїдів у планктоні визначали стандартним спектрофотометричним методом з використанням відповідних рівнянь [28, 42] і виражали відповідно у мкг/дм³ та мкгSPU/дм³.

Відносний вміст хлорофілу *a* ($C_{chl\ a}/V$) розраховували за біомасою фітопланктону та концентрацією хлорофілу *a*, які визначали в одній і тій же пробі води.

Відносну кількість 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 планктону. Паралельно розраховували частку кожного відділу водоростей у загальній біомасі фітопланктону.

Вміст продуктів розпаду хлорофілу a (феопігментів) оцінювали за допомогою рівнянь Лоренцена [34] згідно відповідних методик [6]. Їхню частку ($C_{\text{фео } a}$, %) розраховували від суми з «чистим» хлорофілом a в кожній пробі планктону.

Розраховували наступні співвідношення пігментів: $C_{\text{хл } a+b+c}/C_{\text{хл } a}$, $C_{\text{хл } b}/C_{\text{хл } a}$, $C_{\text{хл } c}/C_{\text{хл } a}$, $C_{\text{хл } a}/C_{\text{хл } b}$, $C_{\text{хл } a}/C_{\text{хл } c}$, $C_{\text{хл } a}/C_{\text{фео } a}$, $C_{\text{кар}}/C_{\text{хл } a}$.

Пігментний індекс Маргалефа E_{430}/E_{664} [23] та пігментне співвідношення E_{480}/E_{664} і E_{430}/E_{665} [21] розраховували виходячи з оптичної щільності ацетонового екстракту пігментів в областях довгохвильових максимумів поглинання світла хлорофілом a (664 нм та 665 нм) і короткохвильових максимумів для каротиноїдів (430 нм та 480 нм) [4, 8, 12].

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].

Оцінку трофічного статусу водойм за вмістом хлорофілу a та біомасою фітопланктону проводили згідно відповідних шкал [3, 13, 25].

Для отримання узагальнюючих характеристик даних розраховували їхні середні значення (x) і стандартну похибку (SE) та виражали як $x \pm SE$. Статистичне опрацювання отриманих даних проведено за допомогою програми MS Excel 2010.

Результати досліджень та їх обговорення

Результати досліджень засвідчили, що загальна кількість зелених пігментів ($C_{\text{хл } a+b+c}$) під час спостережень за розвитком фітопланктону у водоймах НПП «Голосіївський» зазнавала значних коливань (табл. 1).

Варто відмітити, що величина зазначеного показника була вищою у планктоні Горіховатських ставків порівняно з Дідорівськими та Китаївськими ставками. Так, сумарний вміст пігментів у Горіховатських ставках знаходився в межах 46,65—184,03 мкг/дм³ (у середньому 104,95 мкг/дм³). У Дідорівських ставках величина показника $C_{\text{хл } a+b+c}$ була помітно меншою і коливалася від 26,20 до 89,99 мкг/дм³ (у середньому 66,60 мкг/дм³). Китаївські ставки, порівняно з Горіховатськими та Дідорівськими, характеризувалися найменшою середньою величиною $C_{\text{хл } a+b+c}$ (53,45 мкг/дм³). На наш погляд, це пов'язано зі специфікою розвитку фітопланктону, який характеризувався різною кількістю хлорофілів a , b і c . Так, у більшості Горіховатських ставків, найвищі величини $C_{\text{хл } a+b+c}$ збігалися з величиною біомаси фітопланктону (див. табл. 1). Подібна залежність була відмічена для вмісту хлорофілу a у планктоні зазначених водойм і раніше [30]. Ймовірно, це зумовлено особливостями розвитку в них планктонних водоростей. Так, у фітопланктоні ставка № 1 переважали представники відділу Euglenophyta (90,30 %), у ставках № 2 та 4 — Dinophyta (відповідно

Таблиця 1

Характеристика пігментного складу та біомаси фітопланктону ставків НПП «Голосіївський»

№ ставка	C _{хл. a+b+c} мкг/дм ³	Відносний вміст хлорофілів, %			В, мг/дм ³	C _{хл. d/B}	Частка окремих відділів водоростей у загальній біомасі, %				
		a	b	c			1	2	3	4	5
Горіховатські ставки											
1	184,03	74,76	10,08	15,16	5,212	26,4	—	8,83	0,87	90,30	—
2	80,46	75,21	3,54	21,24	4,720	12,8	3,96	23,26	3,07	25,66	44,05
3	46,65	77,85	8,55	13,60	1,582	22,9	4,74	20,72	1,20	35,08	38,25
4	108,65	79,48	4,74	15,77	4,101	21,0	9,44	2,94	4,60	7,69	75,33
Середнє значення	104,95±41,36	76,83±1,58	6,73±2,18	16,44±2,35	3,903±1,14	20,8±4,08	6,05±2,10	13,94±6,83	2,44±1,23	39,68±25,18	52,54±14,10
Дідорівські ставки											
1	89,99	74,21	3,00	22,79	3,746	17,8	2,13	91,47	2,21	1,36	2,83
2	86,96	64,61	2,13	26,76	2,499	24,7	—	73,39	3,08	25,53	—
3	26,20	60,12	10,96	30,93	7,167	2,1	—	1,72	6,40	13,66	77,77
4	63,26	62,12	3,52	34,36	8,867	4,4	82,76	2,78	0,43	0,38	13,65
Середнє значення	66,60±20,84	66,39±4,41	4,90±2,89	28,71±3,55	5,569±2,09	12,2±17,73	42,45±40,32	42,34±33,15	3,03±1,77	10,23±8,38	3,42±28,64
Китаївські ставки											
1	57,25	64,38	2,15	30,66	7,386	5,2	33,46	1,16	3,22	0,36	61,80

Продовження табл. 1

№ ставка	$S_{chl\ a+b+c}$ мкг/дм ³	Відносний вміст хлорофілів, %			В, мг/дм ³	$S_{chl\ a}/B$	Частка окремих відділів водоростей у загальній біомасі, %				
		a	b	c			1	2	3	4	5
2	52,59	53,93	4,75	41,22	6,857	4,1	22,21	4,07	16,88	2,26	54,57
3	38,06	46,36	3,16	50,48	2,732	6,4	89,52	1,79	5,76	0,98	1,94
4	65,88	52,87	5,80	41,33	4,021	8,6	61,45	19,16	6,71	12,67	—
Середнє значення	53,45±8,23	55,09±5,27	3,99±0,93	40,92±5,19	5,249±1,58	6,1±1,36	51,66±21,32	6,55±6,01	8,14±4,25	4,07±4,09	39,44±23,10

Примітка. Відділи водоростей: 1 — Cyanoprokaryota, 2 — Chlorophyta, 3 — Bacillariophyta, 4 — Euglenophyta, 5 — Dinophyta; «—» представники відділу відсутні.

44,05 % та 75,33 %), а у ставку № 3 частка Euglenophyta та Dinophyta була майже однаковою (відповідно 35,08 і 38,25 %). Найбільші величини показника $S_{chl\ a+b+c}$ та біомаси планктонних водоростей були притаманні ставку № 1 (відповідно 184,03 мкг/дм³ та 5,212 мг/дм³), а найменші — ставку № 3 (відповідно 46,65 мкг/дм³ та 1,582 мг/дм³) (див. табл. 1).

Варто звернути увагу на те, що у Дідорівських ставках, на відміну від Горіховатських, найвищі величини $S_{chl\ a+b+c}$ не збіглися з біомасою фітопланктону. Так, зокрема, найбільша величина показника $S_{chl\ a+b+c}$ була притаманна ставку № 1 (89,99 мкг/дм³), а найнижча — ставку № 3 (26,20 мкг/дм³), тоді як біомаса була найбільшою у ставку № 4 (8,867 мг/дм³), а найменшою — у ставку № 2 (2,499 мг/дм³). Ймовірно, це зумовлено тим, що у досліджених ставках за біомасою домінували представники різних відділів: у ставках № 1 та № 2 — Chlorophyta (відповідно 91,47 та 73,39 %), у ставку № 3 — Dinophyta (77,77 %), а у ставку № 4 — Cyanoprokaryota (82,76 %) (див. табл. 1).

У Китаївських ставках, як і у Дідорівських, найвищі величини $S_{chl\ a+b+c}$ також не співпадали з біомасою планктонних водоростей. Так, найбільша загальна кількість зелених пігментів спостерігалася в планктоні ставка № 4 (65,88 мкг/дм³), а найбільша біомаса — у ставку № 1 (7,386 мг/дм³). Ймовірно, це зумовлено тим, що у ставках № 1 і

2 за біомасою переважали представники Dinophyta (відповідно 61,80 та 54,57 %), а у ставках № 3 і № 4 — Cyanoprokaryota (відповідно 89,52 та 61,45 %) (див. табл. 1).

Слід звернути увагу на те, що в усіх трьох досліджуваних каскадах ставків спостерігалась одна і та ж закономірність — поступове зниження загальної кількості зелених пігментів від першого до третього ставка та помітне її підвищення у ставку № 4.

Враховуючи думку деяких авторів [10] про те, що відносний вміст хлорофілу *a* ($C_{chl\ a}/V$) є опосередкованою характеристикою структури фітопланктону, ми розрахували значення цього показника для досліджуваних водойм. Встановлено, що величина $C_{chl\ a}/V$ у ставках НПП «Голосіївський» знаходилась у досить широких межах — від 2,1 до 26,4. Найбільші значення цього співвідношення зареєстровані у фітопланктоні Горіховатських ставків № 1, 3 і 4 та Дідорівських ставків № 1 і 2, а найнижчі — в усіх Китаївських ставках. Аналіз величин $C_{chl\ a}/V$ у досліджуваних водоймах засвідчив, що високі значення цього показника реєструються у більшості випадків при домінуванні у фітопланктоні Chlorophyta, а нижчі — при різному співвідношенні відділів водоростей (див. табл. 1). Подібні закономірності відмічали й інші дослідники [10].

Враховуючи те, що між вмістом зелених пігментів та структурними характеристиками фітопланктону існує певний зв'язок [37, 39], нами був проведений відповідний кореляційний аналіз для виявлення взаємозв'язку між зазначеними показниками для досліджуваних водойм.

Встановлено, що між концентрацією хлорофілу *a* та часткою біомаси Cyanoprokaryota існує достовірна негативна залежність ($r = -0,51$, при $n = 24$, $p \leq 0,05$), а для Euglenophyta — вона виявилась позитивною ($r = 0,58$, при $n = 24$, $p \leq 0,05$). Негативна залежність була виявлена і між концентрацією хлорофілу *b* та часткою біомаси Chlorophyta ($r = -0,40$, при $n = 24$, $p \leq 0,05$), тоді як для Euglenophyta вона була позитивною ($r = 0,73$, при $n = 24$, $p \leq 0,05$).

В процесі досліджень також була встановлена достовірна позитивна залежність між концентрацією хлорофілу *c* та часткою Bacillariophyta ($r = 0,57$) та негативна — з часткою Dinophyta ($r = -0,41$, при $n = 24$, $p \leq 0,05$).

Спрямованість виявлених зв'язків свідчить про те, що збільшення концентрації хлорофілу *a* та хлорофілу *b* відбувається при зростанні частки біомаси Euglenophyta, а хлорофілу *c* — частки біомаси Bacillariophyta.

Отримані нами коефіцієнти кореляції також вказують на зниження кількості хлорофілу *a* при зростанні частки біомаси Cyanoprokaryota, хлорофілу *b* — при збільшенні частки Chlorophyta, а хлорофілу *c* — при збільшенні частки Dinophyta.

Аналіз величин відносного вмісту зелених пігментів ($C_{chl\ a}$, %, $C_{chl\ b}$, %, $C_{chl\ c}$, %) під час спостережень за розвитком фітопланктону у водоймах НПП «Голосіївський» засвідчив, що в усіх ставках переважав хлорофіл *a*. Його кількість змінювалась від 46,36 до 79,48 %. При цьому Горіховатські ставки, порівняно із іншими, характеризувались більшим середнім зна-

ченням $C_{\text{хл } a}$ — 76,83 %, тоді як у планктоні Дідорівських ставків воно становило 66,39 %, а Китаївських — 55,09 %. Середнє значення $C_{\text{хл } b}$ при цьому дорівнювало 6,73, 4,90 та 3,99 %, а $C_{\text{хл } c}$ — 16,44, 28,71 та 40,92 % відповідно у фітопланктоні Горіховатських, Дідорівських та Китаївських ставків. Як бачимо, найвищими значеннями відносного вмісту хлорофілу a та b характеризувався планктон Горіховатських ставків, а хлорофілу c — Китаївських ставків (див. табл. 1).

Слід звернути увагу на те, що у планктоні Горіховатських ставків спостерігалось поступове збільшення відносного вмісту хлорофілу a від першого до четвертого ставка, тоді як у Дідорівських та Китаївських — навпаки, відбувалось його зниження, від першого до третього ставка та деяке підвищення у четвертому ставку. Подібна закономірність була відмічена і щодо загальної кількості пігментів (див. табл. 1).

Ймовірно, що така динаміка загальної кількості зелених пігментів та їхнього відносного вмісту обумовлена особливостями розвитку планктонних водоростей, адже відомо, що різні відділи водоростей відрізняються за складом фотосинтетичних пігментів [8, 12, 24].

Співставлення отриманих даних щодо $C_{\text{хл } a}$, % з таксономічною структурою фітопланктону досліджених водойм вказує на те, що найвагоміший внесок цього пігменту в їхній загальний фонд у планктоні Горіховатських ставків, а саме 77,85 і 79,48 %, виявлено при переважанні у загальній біомасі представників *Dinophyta* (38,25 і 75,33 % відповідно) (див. табл. 1). У Дідорівських ставках найвищі значення відносного вмісту хлорофілу a (74,21 %) спостерігалися при переважанні у планктоні *Chlorophyta* (91,47 %). У Китаївських ставках найбільша кількість $C_{\text{хл } a}$, % (64,38 %) зареєстрована при домінуванні у загальній біомасі представників *Dinophyta* (61,80 %).

Варто звернути увагу на те, що найбільший внесок $C_{\text{хл } a}$, % у загальний фонд зелених пігментів у планктоні досліджуваних ставків зареєстровано при переважанні у загальній біомасі представників *Dinophyta* або *Chlorophyta*, тоді як для р. Дніпра та р. Волги — за умов домінування представників *Cyanoprokaryota* [38, 41].

Підтвердженням зв'язку між відносним вмістом зелених пігментів ($C_{\text{хл } a}$, %, $C_{\text{хл } b}$, %, $C_{\text{хл } c}$, %) та структурними характеристиками фітопланктону можуть слугувати дані кореляційного аналізу. Так, між $C_{\text{хл } a}$, % та часткою біомаси *Cyanoprokaryota* була встановлена достовірна негативна залежність ($r = -0,75$, при $n = 24$, $p \leq 0,05$), а у випадку *Chlorophyta* — вона була позитивною ($r = 0,42$, при $n = 24$, $p \leq 0,05$). Встановлено, що між $C_{\text{хл } b}$, % та часткою біомаси *Euglenophyta* існує позитивна залежність ($r = 0,63$, при $n = 24$, $p \leq 0,05$), що побічно вказує на наявність в цих водоростей хлорофілу b . Позитивна залежність між $C_{\text{хл } c}$, % та біомасою *Bacillariophyta* ($r = 0,79$, при $n = 24$, $p \leq 0,05$) слугує підтвердженням наявності у діатомових водоростей хлорофілу c .

На наш погляд, відсутність достовірного кореляційного зв'язку між кількістю зелених пігментів ($C_{\text{хл } a}$, $C_{\text{хл } b}$, $C_{\text{хл } c}$), їхнім відносним вмістом ($C_{\text{хл } a}$, %, $C_{\text{хл } b}$, %, $C_{\text{хл } c}$, %) та загальною біомасою планктонних водоростей у

досліджуваних водоймах може бути пов'язана з відмінностями у структурі фітопланктону, зокрема, у складі його домінуючого комплексу. Відсутність подібного зв'язку спостерігали й інші дослідники [11, 18, 36].

У роботі [30] повідомлялося, що кількість каротиноїдів у планктоні досліджуваних ставків НПП «Голосіївський», як і хлорофілу *a*, змінювалась в досить широких межах — від 7,56 до 67,00 мкгSPU/дм³. При цьому Горіховатські ставки, порівняно з Дідорівськими та Китаївськими, характеризувалися більшою середньою величиною вмісту каротиноїдів — 36,50 мкгSPU/дм³ проти 23,29 та 20,89 мкгSPU/дм³ відповідно. Варто зазначити, що максимуми і мінімуми вмісту каротиноїдів співпадали з такими хлорофілу *a*. Це свідчить про те, що між кількістю цих пігментів існує прямий зв'язок. Підтвердженням цього слугує достовірна позитивна залежність ($r = 0,94$, при $n = 24$, $p \leq 0,05$). Подібним до змін концентрації хлорофілу *a* був і розподіл жовтих пігментів — поступове зниження їхньої концентрації від першого до третього ставка та помітне її підвищення у ставку № 4.

Враховуючи те, що на сьогодні для об'єктивної оцінки фізіологічного стану водоростей використовують різні співвідношення пігментних характеристик [8, 12, 17, 18, 20, 21, 26, 37, 38], ми отримали значення деяких із них для досліджуваних ставків (табл. 2).

Відомо [35], що за допомогою співвідношення $C_{\text{хл } a+b+c}/C_{\text{хл } a}$ можна оцінити пігментну різноманітність водоростевих угруповань. Вважається [4], що для нормально функціонуючого фітопланктону його величина знаходиться в межах 1,25—4,00. Отримані результати засвідчили, що у Горіховатських ставках значення показника $C_{\text{хл } a+b+c}/C_{\text{хл } a}$ коливалось від 1,26 до 1,34, у Дідорівських ставках — від 1,35 до 1,72, а у Китаївських ставків — від 1,49 до 2,20 (див. табл. 2). Найбільша середня величина співвідношення $C_{\text{хл } a+b+c}/C_{\text{хл } a}$ була характерна для планктону Китаївських ставків (1,87), а найменша — для Горіховатських ставків (1,30). Отже, в усіх ставках НПП «Голосіївський» величина співвідношення $C_{\text{хл } a+b+c}/C_{\text{хл } a}$ була більше 1,25, що відповідає активно функціонуючому угрупованню планктонних водоростей.

Враховуючи [4], що зменшення величини цього показника є свідченням низької пігментної різноманітності альгоугруповань, можна припустити, що Горіховатські ставки зазнають більшого антропогенного впливу, ніж інші системи ставків.

Отримані дані засвідчили, що між співвідношенням $C_{\text{хл } a+b+c}/C_{\text{хл } a}$ та біомасою *Cyanoprokaryota* і *Bacillariophyta* існує позитивна достовірна залежність (відповідно $r = 0,72$ і $r = 0,53$, при $n = 24$, $p \leq 0,05$), а для *Euglenophyta* — негативна ($r = -0,41$, при $n = 24$, $p \leq 0,05$).

Спрямованість виявлених зв'язків свідчить про зменшення пігментної різноманітності угруповань планктонних водоростей за переважання у їхній біомасі *Euglenophyta*, що й спостерігалось у планктоні Горіховатських ставків, тоді як його збільшення є свідченням домінування *Cyanoprokaryota* та *Bacillariophyta*.

Таблиця 2

Співвідношення фотосинтетичних пігментів у фітопланктоні ставків НПП «Голосіївський»

№ ставка	$\frac{C_{chl\ a+b+c}}{C_{chl\ a}}$	$\frac{C_{chl\ b}}{C_{chl\ a}}$	$\frac{C_{chl\ c}}{C_{chl\ a}}$	$\frac{C_{chl\ a}}{C_{chl\ b}}$	$\frac{C_{chl\ a}}{C_{chl\ c}}$	$\frac{C_{кар}}{C_{chl\ a}}$	$\frac{E_{480}}{E_{664}}$	$\frac{E_{430}}{E_{664}}$	$\frac{E_{430}}{E_{665}}$	$C_{фео\ a}, \%$	$\frac{C_{chl\ a}}{C_{фео\ a}}$
Горіховатські ставки											
1	1,34	0,14	0,20	7,88	4,96	0,46	1,30	2,37	2,28	66,02	1,18
2	1,33	0,05	0,28	21,79	3,54	0,47	1,36	2,74	2,63	42,36	1,99
3	1,28	0,11	0,17	9,15	5,73	0,47	1,37	3,00	3,03	53,73	1,50
4	1,26	0,06	0,20	16,80	5,11	0,43	1,39	2,34	2,23	50,55	1,81
Середнє значення	1,30±0,03	0,09±0,03	0,21±0,03	13,91±4,64	4,84±0,65	0,46±0,01	1,36±0,03	2,61±0,22	2,54±0,25	53,16±6,94	1,62±0,25
Дідорівські ставки											
1	1,35	0,04	0,31	25,19	3,28	0,40	1,24	2,33	2,47	29,30	3,27
2	1,41	0,03	0,38	33,37	2,69	0,45	1,14	2,87	2,76	30,50	4,48
3	1,72	0,19	0,53	5,30	1,90	0,51	1,15	3,04	2,90	27,14	3,19
4	1,61	0,06	0,56	20,11	1,84	0,81	1,28	3,45	2,90	48,39	5,02
Середнє значення	1,52±0,12	0,08±0,05	0,44±0,09	21,00±8,35	2,43±0,49	0,54±0,13	1,20±0,05	2,92±2,01	2,70±0,25	33,83±6,93	3,99±0,64
Київські ставки											
1	1,49	0,03	0,46	31,47	2,20	0,72	1,48	3,07	2,92	34,43	8,50
2	1,88	0,09	0,79	11,27	1,37	0,63	2,57	3,49	3,16	55,02	1,63
3	2,20	0,07	1,13	14,61	0,95	0,93	2,07	4,20	4,03	35,98	2,32

Продовження табл. 2

№ ставка	$\frac{C_{xл a+b+c}}{C_{xл a}}$	$\frac{C_{xл b}}{C_{xл a}}$	$\frac{C_{xл c}}{C_{xл a}}$	$\frac{C_{кар}}{C_{xл a}}$	$\frac{E_{480}/E_{664}}$	$\frac{E_{430}/E_{664}}$	$\frac{E_{430}/E_{665}}$	$C_{фео a}$, %	$\frac{C_{xл a}}{C_{фео a}}$
4	1,89	0,11	0,78	0,64	2,02	3,44	3,30	34,29	2,53
Середнє значення	1,87±0,21	0,07±0,02	0,79±0,19	0,73±0,10	2,04±0,31	3,55±0,33	3,35±0,34	39,93±7,14	3,75±2,26

Варто звернути увагу й на те, що у Горіховатських ставках спостерігалось поступове зниження величини $C_{xл a+b+c}/C_{xл a}$, від першого до четвертого ставка, а у Дідорівських та Китаївських ставках вона підвищувалася від першого до третього ставка (див. табл. 2).

Відомо [18, 21, 37], що за допомогою співвідношень $C_{xл b}/C_{xл a}$ та $C_{xл c}/C_{xл a}$ можна оцінити таксономічну різноманітність фітопланктону та його кількісний розвиток.

Наші спостереження за розвитком фітопланктону у водоймах НПП «Голосіївський» засвідчили, що величина співвідношення $C_{xл b}/C_{xл a}$ була меншою за величини співвідношення $C_{xл c}/C_{xл a}$ (див. табл. 2), що є підтвердженням різного внеску у різноманіття угруповань водоростей представників окремих відділів (див. табл. 1).

Підтвердженням тісного зв'язку між величиною $C_{xл b}/C_{xл a}$ та часткою біомаси Chlorophyta та Euglenophyta можуть бути отримані нами коефіцієнти кореляції. Так, встановлено, що між співвідношенням $C_{xл b}/C_{xл a}$ та часткою біомаси зазначених відділів водоростей існує достовірна позитивна залежність ($r = 0,40$ та $r = 0,42$, при $n = 24$, $p \leq 0,05$ відповідно). Подібна залежність була виявлена і при співставленні величин $C_{xл c}/C_{xл a}$ та частки біомаси Bacillariophyta ($r = 0,51$, при $n = 24$, $p \leq 0,05$), тоді як у випадку Dinophyta — залежність була негативною ($r = -0,45$, при $n = 24$, $p \leq 0,05$).

Варто також зазначити, що нами не була встановлена достовірна залежність між співвідношенням $C_{xл b}/C_{xл a}$ та частками біомаси Cyanoprokaryota, Bacillariophyta і Dinophyta, а також між співвідношенням $C_{xл c}/C_{xл a}$ та частками біомаси Chlorophyta і Euglenophyta. На наш погляд, це може бути обумовлено відсутністю у представників Cyanoprokaryota, Bacillariophyta і Dinophyta — хлорофілу *b*, а у Euglenophyta і Chlorophyta — хлорофілу *c*.

Слід звернути увагу і на те, що у системі Дідорівських ставків спостерігалось збільшення величини співвідношення $C_{xл b}/C_{xл a}$ від першого до третього ставка та її зниження у ставку № 4, тоді як у Китаївських ставках спостеріга-

лось поступове підвищення величини зазначеного співвідношення від першого і до четвертого (див. табл. 2). Щодо системи Горіховатських ставків, то для них зареєстровано стрибкоподібний характер змін величин зазначеного співвідношення.

Величина співвідношення $C_{xлc}/C_{xла}$ також зазнавала змін. Так, у Дідорівських ставках спостерігалось підвищення цього показника від першого до четвертого ставка, а у Китаївських — від першого до третього ставка та незначне зниження у четвертому ставку, тоді як у Горіховатських ставках спостерігався стрибкоподібний характер змін цієї величини. Найбільше значення співвідношення $C_{xлc}/C_{xла}$ зареєстроване у фітопланктоні Китаївського ставка № 3 (1,13), а найменше — у Горіховатському ставку № 3 (0,17) (див. табл. 2).

Виявлені відмінності у величинах співвідношень $C_{xлb}/C_{xла}$ та $C_{xлc}/C_{xла}$ у Горіховатських, Дідорівських та Китаївських ставках, на наш погляд, зумовлені тим, що досліджувані водойми зазнають різного рівня антропогенного забруднення [29].

Відомо [2, 7, 8, 19, 27], що за допомогою таких співвідношень пігментів як $C_{xла}/C_{xлb}$, $C_{xла}/C_{xлc}$, $C_{кар}/C_{xла}$ можна оцінити фотосинтетичну активність водоростей. На думку авторів, при старінні популяції водоростей і за дії несприятливих чинників середовища, які викликають деструкцію хлорофілу *a*, величина співвідношення $C_{xла}/C_{xлb}$ і $C_{xла}/C_{xлc}$ зменшується, а $C_{кар}/C_{xла}$ зростає. У результаті проведених досліджень було виявлено, що величини зазначених показників у фітопланктоні досліджуваних ставків знаходились в широких межах. Так, величина співвідношення $C_{xла}/C_{xлb}$ у Горіховатських ставках коливалась в межах 7,88—21,79, у Дідорівських ставках — від 5,30 до 33,37, а у Китаївських ставках — від 9,27 до 31,47. Середні значення при цьому становили відповідно 13,91, 21,00 та 16,66 (див. табл. 2).

Щодо величин співвідношення $C_{xла}/C_{xлc}$, то вони змінювались від 3,54 до 5,73, від 1,84 до 3,28 та від 0,95 до 2,20 відповідно у Горіховатських, Дідорівських та Китаївських ставках (див. табл. 2). При цьому середні значення становили відповідно 4,84, 2,43 та 1,45.

Виявлені відмінності у середніх величинах співвідношень $C_{xла}/C_{xлb}$ і $C_{xла}/C_{xлc}$ у Горіховатських, Дідорівських та Китаївських ставках, як і $C_{xлb}/C_{xла}$ та $C_{xлc}/C_{xла}$, на наш погляд, зумовлені тим, що досліджувані системи водойм зазнають різного рівня антропогенного забруднення [29].

Порівняльний аналіз зв'язку між співвідношенням $C_{xла}/C_{xлb}$ та часткою біомаси *Chlorophyta* дозволив виявити достовірну позитивну залежність ($r = 0,50$, при $n = 24$, $p \leq 0,05$ відповідно). Між співвідношенням $C_{xла}/C_{xлc}$ та відносною часткою біомаси *Vacillariophyta* була встановлена негативна залежність ($r = -0,49$, при $n = 24$, $p \leq 0,05$). Спрямованість виявлених зв'язків свідчить про збільшення фотосинтетичної активності водоростей з переважаанням у планктоні представників *Chlorophyta*.

Згідно даних, наведених у роботі [30], значення співвідношення $C_{кар}/C_{xла}$ у системі Дідорівських та Китаївських ставків коливалися в межах 0,40—0,81 та 0,63—0,93, тоді як у Горіховатських ставках вони були

практично однаковими (0,43—0,47). Найбільші величини $C_{кар}/C_{хл a}$ були характерні для фітопланктону Дідорівського ставка № 4 та Китаївського ставка № 3.

Співставлення отриманих даних щодо величин співвідношень $C_{хл a}/C_{хл b}$, $C_{хл a}/C_{хл c}$ та $C_{кар}/C_{хл a}$ засвідчило, що оцінка фотосинтетичної активності водоростей досліджених систем ставків співпадає тільки за показниками $C_{хл a}/C_{хл c}$ та $C_{кар}/C_{хл a}$. Це свідчить про те, що співвідношення $C_{хл a}/C_{хл c}$ та $C_{кар}/C_{хл a}$ є більш інформативним показником фізіологічного стану клітин водоростей, ніж співвідношення $C_{хл a}/C_{хл b}$. Підвищення величини співвідношення $C_{кар}/C_{хл a}$ та зменшення $C_{хл a}/C_{хл c}$ є свідченням погіршення фізіологічного стану фітопланктону.

Відомо [1, 4, 8, 12, 21, 23], що пігментний індекс Маргалефа E_{430}/E_{664} , а також співвідношення E_{480}/E_{664} , E_{430}/E_{665} та $C_{кар}/C_{хл a}$ характеризують співвідношення вмісту загальних каротиноїдів і хлорофілу *a*. Підвищення їхніх значень свідчить про погіршення фізіологічного стану клітин водоростей.

Отримані нами дані засвідчили, що середні величини співвідношення E_{480}/E_{664} становили 1,36, 1,20 і 2,04, індексу Маргалефа E_{430}/E_{664} — 2,61, 2,92 і 3,55, співвідношення E_{430}/E_{665} — 2,54, 2,94 і 3,35, а співвідношення $C_{кар}/C_{хл a}$ — 0,46, 0,54 і 0,73 відповідно у фітопланктоні Горіховатських, Дідорівських та Китаївських ставків (див. табл. 2). Як бачимо, середні значення зазначених показників виявилися більшими для системи Китаївських ставків порівняно з іншими досліджуваними системами водойм. Співставлення отриманих даних свідчать про те, що спрямованість змін співвідношень E_{480}/E_{664} , E_{430}/E_{664} та E_{430}/E_{665} співпадають із змінами величин співвідношення $C_{кар}/C_{хл a}$. Підтвердженням цього можуть бути розраховані нами коефіцієнти кореляції між зазначеними показниками ($r = 0,51$, $r = 0,89$, $r = 0,79$ при $n = 24$, $p \leq 0,05$ відповідно між $C_{кар}/C_{хл a}$ і E_{480}/E_{664} , між $C_{кар}/C_{хл a}$ і E_{430}/E_{664} та між $C_{кар}/C_{хл a}$ і E_{430}/E_{665}).

Це свідчить про те, що зазначені пігментні співвідношення є інформативними показниками фізіологічного стану клітин водоростей. Підвищення їхніх величин, а також співвідношення $C_{кар}/C_{хл a}$ свідчить про його погіршення.

Співставлення отриманих величин індексу Маргалефа E_{430}/E_{664} та співвідношень E_{480}/E_{664} і E_{430}/E_{665} із структурними характеристиками фітопланктону свідчить про те, що між величинами показників E_{430}/E_{664} , E_{430}/E_{665} та часткою біомаси *Cyanoprokaryota* існує достовірна позитивна залежність ($r = 0,83$ та $r = 0,72$ при $n = 24$, $p \leq 0,05$ відповідно). Подібна залежність виявлена також між значеннями співвідношень E_{480}/E_{664} , E_{430}/E_{664} та часткою біомаси *Bacillariophyta* ($r = 0,82$ і $r = 0,41$ при $n = 24$, $p \leq 0,05$ відповідно). У той же час встановлена достовірна негативна залежність між величинами співвідношень E_{430}/E_{664} і E_{430}/E_{665} та часткою біомаси *Euglenophyta* ($r = -0,45$ та $r = -0,42$ при $n = 24$, $p \leq 0,05$ відповідно). Подібна залежність зареєстрована між величинами показника E_{480}/E_{664} та часткою біомаси *Chlorophyta* ($r = -0,42$ при $n = 24$, $p \leq 0,05$), а також між ве-

личинами показника E_{480}/E_{665} та часткою біомаси Dinophyta ($r = -0,40$ при $n = 24$, $p \leq 0,05$).

Спрямованість виявлених зв'язків свідчить про збільшення значень індексу Маргалефа E_{430}/E_{664} та співвідношення E_{430}/E_{665} із зростанням частки Cyanoprokaryota та збільшення величин співвідношення E_{480}/E_{664} й індексу Маргалефа E_{430}/E_{664} — при переважанні представників Bacillariophyta у загальній біомасі фітопланктону.

Окрім інших характеристик фізіологічного стану клітин водоростей досить важливим його показником є вміст феопігментів (феофітину) ($C_{\text{фео } a}$) та співвідношення $C_{\text{хл } a}/C_{\text{фео } a}$. Відомо [1, 23], що коли значення $C_{\text{хл } a}/C_{\text{фео } a}$ менше одиниці, то це свідчить про відмирання й розклад клітин водоростей. Ці процеси супроводжуються руйнуванням хлорофілу a , втратою йону Mg^{2+} та утворенням феопігментів.

Одержані дані свідчать про те, що відсотковий вміст феопігментів ($C_{\text{фео } a}$, %) під час наших спостережень за розвитком фітопланктону Горіховатських ставків знаходився в межах 42,36—66,02 %, у Дідорівських ставках — 27,14—48,39 %, а у Китаївських ставках — 34,29—55,02 %. При цьому середні значення зазначеного показника становили 53,16, 33,83 та 39,93 %, тобто перша система ставків порівняно з іншими характеризувалася помітно більшими середніми величинами цього показника (див. табл. 2).

Слід звернути увагу на те, що між величиною $C_{\text{фео } a}$, % та часткою біомаси Euglenophyta існує достовірна позитивна залежність ($r = 0,58$ при $n = 24$, $p \leq 0,05$). Спрямованість виявленого зв'язку свідчить про збільшення значень $C_{\text{фео } a}$, % зі зростанням частки представників Euglenophyta у біомасі фітопланктону.

Величини співвідношення $C_{\text{хл } a}/C_{\text{фео } a}$ у досліджуваних водоймах були більшими за одиницю і знаходились в межах 1,18—1,99, 3,19—5,02 та 1,63—8,50 відповідно у Горіховатських, Дідорівських та Китаївських ставках (див. табл. 2). Вони характеризують угруповання планктонних водоростей як «нормально функціонуючі» [2, 14]. Між показниками $C_{\text{хл } a}/C_{\text{фео } a}$ та $C_{\text{фео } a}$, % було виявлено достовірну негативну залежність ($r = -0,73$ при $n = 24$, $p \leq 0,05$).

Зважаючи на думку авторів [4, 8, 12, 16] про те, що за змінами пігментних індексів і вмістом феопігментів можна характеризувати розвиток фітопланктону [12, 17], ми провели відповідний кореляційний аналіз для виявлення зв'язку між цими показниками.

Було встановлено, що між пігментним співвідношенням E_{480}/E_{664} та $C_{\text{фео } a}$, % існує достовірна позитивна залежність у системі Дідорівських та Китаївських ставків (відповідно $r = 0,74$ і $r = 0,82$ при $n = 8$, $p \leq 0,05$), тоді як у Горіховатських ставках — негативна ($r = -0,75$, при $n = 8$, $p \leq 0,05$). У той же час, між індексом Маргалефа E_{430}/E_{664} та $C_{\text{фео } a}$, % існує позитивний зв'язок лише для системи Дідорівських ставків ($r = 0,72$, при $n = 8$, $p \leq 0,05$).

Важливим аспектом гідробіологічних досліджень є встановлення трофічного статусу водойм. Хлорофіл a та біомаса водоростей є при цьому пріоритетними показниками. Проведене нами визначення трофічно-

го статусу досліджуваних водних об'єктів за вмістом хлорофілу a відповідно до шкал [3, 25] свідчить про те, що усі ставки можна віднести до евтрофного типу. За величиною біомаси водоростей у планктоні, відповідно до класифікації [25], більшість досліджуваних ставок також належали до евтрофного типу, тоді як Горіховатський ставок № 3, Китаївський ставок № 3 та Дідорівський ставок № 2 — до мезотрофного типу.

Висновки

Отримані результати засвідчили, що досліджувані ставки помітно відрізнялись за загальним вмістом хлорофілів ($C_{\text{хл } a+b+c}$) та значеннями спектральних характеристик фітопланктону. При цьому Горіховатські ставки, порівняно із Дідорівськими та Китаївськими, характеризувались більшими середніми величинами загальної кількості пігментів, відносно-го вмісту хлорофілу a та b і співвідношень $C_{\text{хл } a}/V$ і $C_{\text{хл } a}/C_{\text{хл } c}$ та меншими середніми значеннями відносно-го вмісту хлорофілу c , співвідношень $C_{\text{хл } a+b+c}/C_{\text{хл } a}$, $C_{\text{хл } c}/C_{\text{хл } a}$, $C_{\text{хл } a}/C_{\text{хл } b}$, $C_{\text{хл } a}/C_{\text{фео } a}$, $C_{\text{кар}}/C_{\text{хл } a}$, індексу Маргалефа E_{430}/E_{664} та пігментного співвідношення E_{430}/E_{665} , тоді як середні величини співвідношення $C_{\text{хл } b}/C_{\text{хл } a}$ були практично однаковими в усіх досліджуваних системах ставок. Середнє значення пігментного співвідношення E_{480}/E_{664} було найменшим у Дідорівських ставках, а найбільшим — у Китаївських ставках.

Встановлено, що кількість хлорофілів a , b , c та їхній відносний вміст ($C_{\text{хл } a}$, %, $C_{\text{хл } b}$, %, $C_{\text{хл } c}$, %), а також величини співвідношень $C_{\text{хл } a+b+c}/C_{\text{хл } a}$, $C_{\text{хл } b}/C_{\text{хл } a}$, $C_{\text{хл } c}/C_{\text{хл } a}$, $C_{\text{хл } a}/C_{\text{хл } b}$, $C_{\text{хл } a}/C_{\text{хл } c}$, $C_{\text{хл } a}/C_{\text{фео } a}$, $C_{\text{кар}}/C_{\text{хл } a}$, індекс Маргалефа E_{430}/E_{664} та пігментні співвідношення E_{480}/E_{664} і E_{430}/E_{665} у фітопланктоні досліджуваних водойм корелювали з біомасою окремих відділів водоростей.

В усіх ставках НПП «Голосіївський» співвідношення $C_{\text{хл } a+b+c}/C_{\text{хл } a}$ було більше 1,25, що відповідає активно функціонуючому угрупованню планктонних водоростей. Враховуючи, що зменшення величини цього показника є свідченням низької пігментної різноманітності альгоугруповань, можна припустити, що Горіховатські ставки зазнають більшого антропогенного впливу, ніж інші системи ставок.

Величини співвідношення $C_{\text{хл } a}/C_{\text{фео } a}$ у досліджуваних водоймах були більшими за одиницю, що характеризує угруповання планктонних водоростей, що розвиваються у ставках НПП «Голосіївський» як «нормально функціонуючі». Проте найвищий відносний вміст феопігментів ($C_{\text{фео } a}$, %) та найнижче співвідношення $C_{\text{хл } a}/C_{\text{фео } a}$ зареєстровано у найбільш забруднених Горіховатських ставках.

Встановлено, що за вмістом хлорофілу a усі обстежені ставки можна віднести до евтрофного типу, а за величиною біомаси планктонних водоростей — переважно більшість досліджуваних водойм (75 %).

Список використаної літератури

1. 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.
2. Бриттон Г. Биохимия природных пигментов. Москва: Мир, 1986. 422 с.
3. Бульон В.В. Первичная продукция и трофическая классификация водоемов. Изучение первичной продукции планктона внутренних водоемов. Санкт-Петербург: Гидрометеиздат, 1993. С. 147—158.
4. Бульон В.В. Первичная продукция планктона внутренних водоемов. Ленинград: Наука, 1983. 150 с.
5. Винберг Г.Г. Первичная продукция водоемов. Минск: Изд-во АН БССР, 1960. 329 с.
6. ГОСТ 17.1.04.02.90. Вода. Методика спектрофотометрического определения хлорофилла-а. Москва: Издательство 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. Сибирское отделение, 1989. 96 с.
9. Зайцев Г.Н. Математическая статистика в экспериментальной ботанике. Москва: Наука, 1984. 423 с.
10. Корнева Л. Г. Формирование фитопланктона водоемов бассейна Волги под влиянием природных и антропогенных факторов: автореф. дис. ... докт. биол. наук. Санкт-Петербург, 2009. 48 с.
11. Медведь В.А. Влияние азотсодержащих соединений воды на пигментные характеристики фитопланктона: автореф. дис... канд. биол. наук. Киев, 1990. 18 с.
12. Минеева Н.М. Растительные пигменты в воде волжских водохранилищ. Москва: Наука, 2004. 156 с.
13. Михеева Т.М. Оценка величин биомассы фитопланктона в озерах мира. *Гидробиол. журн.* 1975. Т.11, № 3. С. 90—104.
14. Руководство по гидробиологическому мониторингу пресноводных экосистем. Санкт-Петербург: Гидрометеиздат, 1992. С. 164—173.
15. Сигарева Л.Е. Хлорофилл в донных отложениях волжских водоемов. Москва: Тов-во науч. изд. КМК, 2012. 224 с.
16. 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.
17. Сигарева Л.Е., Ляшенко О.А. Значимость пигментных характеристик фитопланктона при оценке качества воды. *Водные ресурсы.* 2004. Т. 31, № 4. С. 475—480.
18. Сиделев С.И., Бабаназарова О.В. Анализ связей пигментных и структурных характеристик фитопланктона высокоэвтрофного озера. *Журн. Сибир. федер. ун-та. Биология.* 2008. Т. 2, № 1. С. 162—177.
19. Сиренко Л.А. Физиологические основы размножения синезеленых водорослей в водохранилищах. Киев: Наук. думка, 1972. 202 с.
20. Смольская О.С. Пигментные индексы, содержание сестона и хлорофилла а 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, 2017. С. 218—220.
21. Смольская О.С., Жукова А.А. Спектральные пигментные индексы фитопланктона в разнотипных водных объектах Беларуси. *Журн. Белорус. гос. ун-та. Экология.* 2018. № 1. С. 114—123.
22. 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.

23. Станиславская Е.В. Пигментные характеристики перифитона озерно-речных систем урбанизированных территорий. *Изв. Самар. науч. центра РАН*. 2016. Т. 18, № 2 (2). С. 502—506.
24. Топачевский А.В., Масюк Н.П. Пресноводные водоросли Украинской ССР. Киев: Вища шк., 1984. 336 с.
25. Трифонова И.С. Оценка трофического статуса водоемов по содержанию хлорофилла *a* в планктоне // Методические вопросы изучения первичной продукции планктона внутренних водоемов. Санкт-Петербург: Гидрометеиздат, 1993. С. 158—166.
26. Трифонова И.С. Экология и сукцессия озерного фитопланктона. Ленинград: Наука, 1990. 184 с.
27. 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.
28. 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. Vol. 167, N 2. P. 191—194.
29. Gorbatiuk L. O., Pasichna O. O., Klochenko P.D. et al. Content of pollutants and their potential toxicity in the water bodies of the “Golosiivsky” National Nature Park (Ukraine). *Hydrobiol. J.* 2025. Vol. 61, N 2. P. 61—74.
30. Klochenko P.D., Gorbatiuk L.O., Shevchenko T.F. et al. Phytoplankton production and decomposition characteristics in the water bodies of the “Golosiivsky” National Nature Park (Ukraine). *Ibid.* 2025. Vol. 61, N 5. P. 3—16.
31. Klochenko P.D., Shevchenko T.F., Kharchenko G.V. Epiphyton algae of the water bodies of the “Golosiivsky” National Nature Park (Ukraine). *Ibid.* 2022. Vol. 58, N 3. P. 15—28.
32. Klochenko P.D., Shevchenko T.F., Nezbyrskaya 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. 31—47.
33. Klochenko P.D., Tsarenko P.M., Ivanova I.Yu. Peculiarities of phytoplankton species composition in water bodies of the Goloseyevo National Natural Park (Kiev). *Ibid.* 2010. Vol. 46, N 3. P. 36—44.
34. Lorenzen C.J. Determination of chlorophyll and phaeopigments: spectrophotometric equations. *Limnol. Oceanogr.* 1967. Vol. 12. P. 343—346.
35. Margalef R. Valeur indicatrice de la composition des pigment du phytoplankton sur la productivite, composition taxonomique et proprietes dynamiques des populations. Rapp. et process — verbaus reunions. Commiss. Intern. Explorat Sci. Mer. Mediterranee. 1960. Vol. 15 (2). P. 277—281.
36. 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.
37. Medved' V.O. Phytoplankton spectral pigment indices in the lakes of the city of Kyiv. *Ibid.* 2023. Vol. 5, N 4. P. 30—46.
38. 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.
39. 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.
40. Medved' V.O., Kharchenko G.V. Phytoepiphyton of *Ceratophyllum demersum* L. and its pigment characteristics in the water bodies of the “Golosiivsky” National Nature Park (Ukraine). *Ibid.* 2025. Vol. 61, N 4. P. 61—78.

41. 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.

42. 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.

43. 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). *Hydrobiol. J.* 2000. Vol. 36, N 4. P. 10—20.

44. Sirenko L.A., Medved' V.A. Long-term dynamics of the content of chlorophyll *a* and peculiarities of development of phytoplankton in the Dneprodzerzhinsk Reservoir. *Ibid.* 2000. Vol. 36, N 5. P. 140—155.

Надійшла 11.11.2025

V.O. 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 0009-0002-6102-2129

PIGMENT INDICES OF PHYTOPLANKTON OF THE WATER BODIES OF THE GOLOSIYIVSKY NATIONAL NATURE PARK (UKRAINE) AND ASSESSMENT OF THEIR TROPHIC STATUS

The publication is dealt with the pigment characteristics ($C_{chl\ a+b+c}/C_{chl\ a}$, $C_{chl\ b}/C_{chl\ a}$, $C_{chl\ c}/C_{chl\ a}$, $C_{chl\ a}/C_{chl\ b}$, $C_{chl\ a}/C_{chl\ c}$, $C_{pheo\ a}$ %, $C_{chl\ a}/C_{pheo\ a}$, $C_{car}/C_{chl\ a}$, the Margaleff index E_{430}/E_{664} , and the pigment ratio E_{480}/E_{664} , E_{430}/E_{665}) of phytoplankton from 12 ponds of the Golosiyivsky National Nature Park (Kyiv, Ukraine), which differ in the level of anthropogenic pollution. It has been found that phytoplankton of the Gorikhovatka ponds compared to that of the Didorivka and Kytayevo ponds was characterized by the higher average values of the total content of pigments, the relative content of chlorophylls *a* and *b*, and the ratios $C_{chl\ a}/B$ and $C_{chl\ a}/C_{chl\ c}$ and by the lower average values of the relative content of chlorophyll *c*, the ratios $C_{chl\ a+b+c}/C_{chl\ a}$, $C_{chl\ c}/C_{chl\ a}$, $C_{chl\ a}/C_{chl\ b}$, $C_{chl\ a}/C_{pheo\ a}$, $C_{car}/C_{chl\ a}$, the Margaleff index E_{430}/E_{664} , and the pigment ratio E_{480}/E_{665} , while the average values of the ratio of $C_{chl\ b}/C_{chl\ a}$ were almost the same in all studied pond systems. The lowest average value of the pigment ratio E_{480}/E_{664} was in the Didorivka ponds and the highest — in the Kytayevo ponds. In terms of the content of chlorophyll *a*, all studied ponds can be assigned to the eutrophic type, and in terms of phytoplankton biomass — their vast majority (75 %).

Keywords: phytoplankton, spectral pigment characteristics, ponds, Golosiyivsky National Nature Park.