

УДК 574.583 (28) + 581.526.325

В.О. МЕДВЕДЬ, к. б. н., наук. співроб., ст. наук. співроб.,
Інститут гідробіології НАН України,
просп. Героїв Сталінграда, 12, Київ, 04210, Україна
e-mail: vika_med@i.ua

Г.В. ХАРЧЕНКО, к. б. н., наук. співроб.,
Інститут гідробіології НАН України,
просп. Героїв Сталінграда, 12, Київ, 04210, Україна

ПІГМЕНТНІ І КІЛЬКІСНІ ПОКАЗНИКИ ФІТОПЛАНКТОНУ ОЗЕР МЕГАПОЛІСУ ТА ОЦІНКА ЇХНЬОГО ТРОФІЧНОГО СТАТУСУ

*Вивчали вміст фотосинтетичних пігментів (хлорофілу *a*, *b*, *c* і каротиноїдів) та кількісні показники розвитку фітопланктону у 19 озерах м. Києва, які відрізняються за походженням, гідрологічними умовами та ступенем антропогенного навантаження. Встановлено, що зазначені показники змінювались у широких межах. Вміст хлорофілу *a* та каротиноїдів у досліджуваних озерах корелює з біомасою фітопланктону. Виявлене відставання величини біомаси планктонних водоростей від концентрації хлорофілу *a* та каротиноїдів є свідченням зменшення розмірних характеристик клітин водоростей, а також перебудови альгоугруповань у відповідь на антропогенне навантаження. Більшість озер м. Києва за вмістом хлорофілу *a* та біомасою фітопланктону можна віднести до евтрофного типу.*

Ключові слова: *фітопланктон, хлорофіл *a*, *b*, *c*, каротиноїди, чисельність, біомаса, трофічний статус, озера м. Києва.*

Водорості планктону займають одне із найважливіших місць серед первинних продуцентів як у малих, так і у великих водоймах. При проведенні екологічного моніторингу вміст основного фотосинтетичного пігменту — хлорофілу *a* та кількісні показники розвитку фітопланктону є важливими характеристиками, які використовуються для оцінки трофічного статусу водних об'єктів [3, 5, 12—14, 17, 18, 23, 25, 26, 44, 45]. Більшість дослідників упевнено ставлять знак рівності між вмістом хлорофілу та біомасою, виражаючи останню через концентрацію пігменту [29, 30, 33, 39].

Дані щодо концентрації хлорофілу *a* та її зміни використовуються також при оцінці продукції фітопланктону та індикації забруднення вод [11, 14, 17, 20, 26, 38].

Ц и т у в а н н я: Медведь В.О., Харченко Г.В. Пігментні і кількісні показники фітопланктону озер мегаполісу та оцінка їхнього трофічного статусу. *Гідробіол. журн.* 2022. Т. 58 № 1. С. 57—70.

Жовті пігменти (каротиноїди) разом із хлорофілом є важливими компонентами рослинних клітин, які виконують світлопоглинаючу, стабілізуючу і світлозахисну функції, захищаючи хлорофіл від фотоокиснення. Каротиноїди — більш стабільні компоненти клітин, ніж зелені пігменти. У науковій літературі є відомості про те, що вміст жовтих пігментів у водному об'єкті, так як і хлорофілу *a*, може бути маркером біомаси водоростей [цит. по 21].

Варто зазначити, що, на відміну від інформації про видовий склад планктонних водоростей та особливостей їхнього розвитку в озерах м. Києва [7, 36, 37], відомості щодо вмісту фотосинтетичних пігментів у товщі води та його зв'язок з кількістю фітопланктону у водоймах цього мегаполісу є досить обмеженими [8, 9, 27, 28].

Метою даної роботи було визначення вмісту фотосинтетичних пігментів у планктоні озер м. Києва, виявлення його зв'язку з біомасою фітопланктону та встановлення трофічного статусу міських водойм на основі зазначених параметрів.

Матеріал і методика досліджень

Гідробіологічні дослідження проводились влітку 2020 р. на 19 озерах м. Києва, що зазнають різнобічного антропогенного впливу та відрізняються своїм походженням [1, 31, 34].

В результаті систематизації міських водних об'єктів виділено дві групи — гідрогенні та штучні водойми [1]. До першої групи входять озера, які виникли під впливом природних процесів та зазнали різного ступеня антропогенного втручання. Серед досліджуваних нами водойм до цієї групи належали такі озера, як Вербне (50°29'24" N 30°31'03" E), Вирлиця (50°23'44" N 30°39'41" E), Голубе (50°30'29" N 30°24'45" E), Підбірна (50°23'12" N 30°36'06" E), Райдужне (50°29'02" N 30°34'58" E), Редьчине (50°32'23" N 30°28'43" E), Синє (50°30'39" N 30°24'04" E), Сонячне (50°25'09" N 30°38'20" E), Тягле (50°22'42" N 30°38'54" E), Тельбін (50°25'33" N 30°36'30" E) і Центральне (50°31'06" N 30°30'32" E). Інша частина гідрогенних водойм — це так звані «стариці». Їхнім прикладом є система озер Опечень: 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) та Йорданське (50°29'35" N 30°30'00" E). До групи штучних водойм належать озера Алмазне (50°30'24" N 30°38'58" E), Вигурівське (50°31'30" N 30°37'48" E) та Лебедине (50°24'6" N 30°38'42" E).

На кожному із озер протягом липня було відібрано по дві проби. Проби фітопланктону об'ємом 0,5 дм³ фіксували 40 %-вим розчином формальдегіду (із кінцевою концентрацією 4 %) та концентрували методом седиментації. Чисельність водоростей визначали методом прямого підрахунку в камері Нажотта об'ємом 0,02 см³, а біомасу — рахунково-об'ємним методом [16]. Чисельність водоростей виражали у тис. кл/дм³, а біомасу — в мг/дм³. До складу домінантів відносили види, внесок яких до загальної біомаси фітопланктону у пробі становив ≥ 10 %.

Латинські назви таксонів водоростей наведено відповідно до класифікаційних систем [24, 46].

Вміст фотосинтетичних пігментів хлорофілу *a* та каротиноїдів у планктоні визначали стандартним спектрофотометричним методом з використанням відповідних рівнянь [35, 41].

Відносний вміст хлорофілу *a* розраховували за формулою: $(C_{chl}/B) \cdot 100$, де C_{chl} — концентрація хлорофілу *a*, мкг/дм³; B — біомаса фітопланктону, мг/дм³.

Визначення трофічного статусу водойм проведено згідно відповідних шкал [3, 26].

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

Спрямованість зв'язку (позитивний, негативний) між вмістом досліджуваних пігментів та біомасою фітопланктону, а також хімічним складом води ($N_{неорг}$, $P_{неорг}$, БО (біхроматна окиснюваність)) оцінювали за допомогою кореляційного аналізу [6]. З цією метою у роботі використано опубліковані дані [43], які були отримані під час досліджень гідрохімічного режиму озер м. Києва, що проводились одночасно з нашими спостереженнями.

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

Результати досліджень та їх обговорення

Характеристика фітопланктону досліджуваних озер. Отримані дані свідчать, що чисельність планктонних водоростей у досліджуваних водоймах коливалась від 574 до 503 824 тис. кл/дм³ (табл. 1).

За чисельністю клітин в основному переважали синьозелені (70,7—99,5 %) та зелені (54,0—97,7 %) водорості (рис. 1). Однак в деяких водоймах вагому частку в загальній чисельності фітопланктону склали діатомові (40,2 % — в оз. Підбірна) та динофітові (56,8 % — в оз. Голубе) водорості.

Біомаса фітопланктону, як і чисельність, змінювалась в досить широкіх межах: 0,78—48,75 мг/дм³ (див. табл. 1). Найменші значення цього показника було зареєстровано в оз. Синьому (0,78 мг/дм³), Підбірна (1,17 мг/дм³), Вирлиця (1,31 мг/дм³) і Тягле (1,81 мг/дм³), а найбільші — в оз. Вигурівському (48,75 мг/дм³).

Особливістю досліджуваних водойм було те, що в таких озерах, як Йорданське, Кирилівське, Вербне, Центральне, Тягле та Вигурівське, за біомасою переважали синьозелені водорості (72—93 %), в Луговому, Мінському, Лебединому, Алмазному, Вирлиці, Синьому та Богатирському домінували зелені (51—99 %), в Сонячному, Тельбіні та Голубому — динофітові (77—97 %), в Підбірна — діатомові (81 %), а в Райдужному та Редьчиному — синьозелені та динофітові (у співвідношенні відповідно 48 і 28 % та 49 і 43 %) (див. рис. 1).

Серед домінантів у планктоні досліджуваних водойм варто відзначити, перш за все, такі види, як *Aphanizomenon flos-aquae* (L.) Ralfs. (Cyanoprokaryota), *Acutodesmus pectinatus* (Meyen) Tsar., *Acutodesmus obliquus* (Turp.) Tsar., *Actinastrum hantzschii* Lagerh., *Coelastrum sphaericum* Nägeli, *Phacotus coccifer* Korsch. (Chlorophyta), *Peridiniopsis quadridens* (F. Stein) Bourr., *Glenodinium gymnodinium* (F. Stein) Bourr., *Ceratium hirundinella* (O. Müll.) Bergh (Dinophyta), *Melosira varians* Ag. (Bacillariophyta), *Trache-*

Таблиця 1

Характеристика фітопланктону озер м. Києва та їхній трофічний статус

Озера	Чисельність, тис. кл/дм ³	Біомаса, мг/дм ³	Хлорофіл a, мкг/дм ³	Трофічний статус		
				за вмістом хлорофілу a		за біомасою
				згідно [3]	згідно [26]	згідно [26]
Правобережні озера						
Редьчине	50520±2526	8,13±0,407	16,5±0,61	Е	Е	Е
Мінське	65896±3295	18,75±0,938	12,4±0,31	Е	Е	Е
Лугове	50300±2515	20,69±0,671	53,1±14,53	Е	Е	Е
Богатирське	25464±1273	3,91±0,196	87,7±0,04	Е	Е	Е
Кирилівське	268616±13431	25,21±1,261	57,7±2,99	Е	Е	Е
Йорданське	93128±4656	8,91±0,446	26,8±3,07	Е	Е	Е
Вербне	115596±5780	12,68±0,634	53,5±1,53	Е	Е	Е
Центральне	17360±868	13,47±1,035	8,6±0,24	М	М	Е
Синє	958±48	0,78±0,039	3,5±0,40	М	М	О
Голубе	2648±132	26,38±1,319	4,6±0,59	М	М	Е
Лівобережні озера						
Вирлиця	1460±73	1,31±0,066	9,0±0,76	М	М	М
Підбірна	574±29	1,17±0,059	7,5±0,23	М	М	М
Райдужне	144432±7222	22,91±1,146	77,2±5,28	Е	Е	Е
Сонячне	13524±676	11,44±0,572	16,8±1,12	Е	Е	Е
Тельбін	13365±668	12,63±0,632	32,7±2,60	Е	Е	Е
Тягле	18080±904	1,81±0,091	81,5±6,44	Е	Е	М
Алмазне	28940±1447	10,39±0,520	30,7±0,85	Е	Е	Е
Вигурівське	503824±25191	48,75±2,438	113,3±6,57	Е	Е	Е
Лебедине	26340±1317	11,10±0,555	54,9±0,21	Е	Е	Е

Примітка. О — оліготрофні; М — мезотрофні; Е — евтрофні.

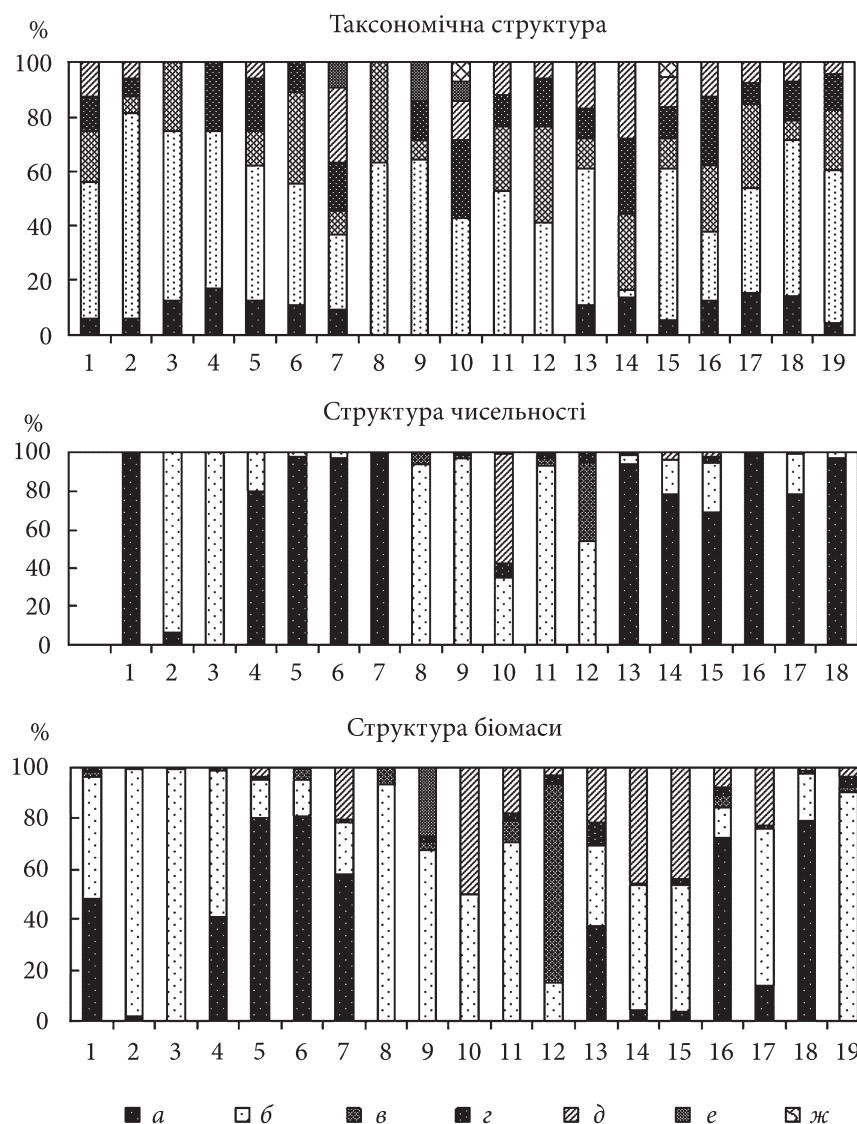


Рис. 1. Структура фітопланктону озер м. Києва: а — Cyanoprokaryota; б — Chlorophyta; в — Bacillariophyta; г — Euglenophyta; д — Dinophyta; е — Streptophyta; ж — Xanthophyta. Тут і на рис. 2—4: 1 — Редьчине; 2 — Мінське, 3 — Лугове; 4 — Богатирське; 5 — Кирилівське; 6 — Йорданське; 7 — Вербне; 8 — Центральне; 9 — Синє; 10 — Голубе; 11 — Вирлиця; 12 — Підбірна; 13 — Райдужне; 14 — Сонячне; 15 — Тельбін; 16 — Тягле; 17 — Алмазне; 18 — Вигурівське; 19 — Лебедине

Iomonas volvocina (Ehrenb.) Ehrenb (Euglenophyta) і *Cosmarium turpinii* Bréb. (Streptophyta).

Аналіз таксономічної структури фітопланктону свідчить про те, що за кількістю видів в основному переважали Chlorophyta (44,4—75,0 % від загальної кількості видів), друге місце посідали Bacillariophyta (21,7—35,3 %) (див. рис. 1).

Представники зазначених відділів були виявлені в усіх досліджуваних водоймах. Водорості із відділів Cyanoprokaryota, Dinophyta і Euglenophyta знайдено у більшості озер, тоді як представники Streptophyta зустрічались тільки в озерах Вербному, Голубому та Синьому, а Xanthophyta — в озерах Голубому і Тельбін.

На наш погляд, виявлені відмінності у розвитку водоростей у досліджуваних водоймах обумовлені як різним хімічним складом води і різними гідрологічними умовами, так і різним ступенем рекреаційного навантаження, що узгоджується з висновками інших дослідників [27, 31, 32, 43].

Проведений кореляційний аналіз засвідчив наявність негативного зв'язку між загальною чисельністю фітопланктону і концентрацією неорганічних сполук азоту ($r = -0,36$, $n = 38$, $P \leq 0,05$) та між загальною біомасою і концентрацією неорганічних сполук фосфору ($r = -0,37$, $n = 38$, $P \leq 0,05$). Натомість було виявлено позитивну залежність між загальною чисельністю планктонних водоростей та кількістю органічних речовин ($r = 0,62$, $n = 38$, $P \leq 0,05$).

Характеристика досліджуваних озер за пігментними показниками. Згідно отриманим даним, вміст хлорофілу *a* у водоймах коливався від 3,5 до 113,3 мкг/дм³ (див. табл. 1). При цьому правобережні та лівобережні водойми дещо відрізнялись за вмістом зазначеного пігменту: середні значення вмісту хлорофілу *a* склали відповідно 32,4 та 47,1 мкг/дм³. Результати проведених досліджень також показали, що середній вміст хлорофілу *a* був помітно меншим у гідрогенних водоймах порівняно зі штучними — відповідно 34,3 та 66,4 мкг/дм³.

Аналіз пігментного складу фітопланктону засвідчив, що в усіх озерах серед зелених пігментів переважав хлорофіл *a* (рис. 2). У деяких пробах фітопланктону відносний вміст цього пігменту перевищував 90 % (оз. Вербне, Тягле і Вигурівське). Варто звернути увагу на той факт, що високі значення концентрації хлорофілу *a* були зареєстровані в озерах з переважанням у фітопланктоні представників Cyanoprokaryota (Богатирське, Йорданське, Кирилівське, Алмазне і Вигурівське), хлорофілу *b* — в озерах з переважанням представників Chlorophyta (Синє, Центральне, Голубе), а хлорофілу *c* — у водоймах з домінуванням Bacillariophyta (Підбірна) і Dinophyta (Голубе, Сонячне, Тельбін) (див. рис. 2). Подібні закономірності було відмічено і для інших водойм [11, 15, 20].

Було виявлено, що кількість каротиноїдів у досліджуваних озерах змінювалась від 1,7 до 52,0 мкг SPU/дм³. При цьому у правобережних водоймах концентрація каротиноїдів знаходилась у межах 1,7—42,3 мкг SPU/дм³, а у лівобережних — коливалась від 3,8 до 52,0 мкг SPU/дм³ (рис. 3).

Одержані дані свідчать про те, що гідрогенні водойми порівняно зі штучними характеризувались меншою середньою кількістю жовтих пігментів — відповідно 16,9 та 29,6 мкг SPU/дм³. Ці результати співпадають з даними для хлорофілу *a* (див. рис. 3).

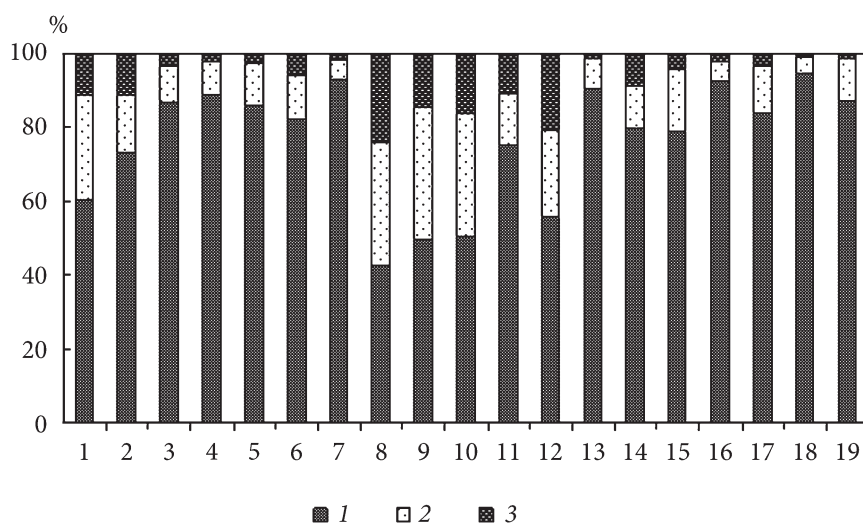


Рис. 2. Пігментний склад фітопланктону в досліджуваних озерах м. Києва: 1 — хлорофіл *a*; 2 — хлорофіл *b*; 3 — хлорофіл *c*

Варто зазначити, що максимуми і мінімуми концентрації каротиноїдів співпадали з мінімумами-максимумами вмісту хлорофілу *a*. Це узгоджується з даними інших дослідників про те, що між кількістю цих пігментів у планктоні існує прямий зв'язок [11, 15, 18, 38].

Відомо, що показники концентрації хлорофілу *a* у водному об'єкті служать критерієм оцінки запасів біомаси фітопланктону, оскільки між ними у більшості випадків спостерігається пряма залежність [14, 15, 18, 19, 21, 38, 40]. У літературі наявні відомості про те, що не тільки вміст хлорофілу *a*, але і каротиноїдів можна розглядати як маркер оцінки біомаси водоростей [цит. по 18].

Отримані нами результати досліджень свідчать про те, що в озерах м. Києва мінімальні та максимальні концентрації хлорофілу *a* і каротиноїдів в основному співпадали з мінімальними і максимальними значеннями показників біомаси (див. рис. 3).

Відомо, що на знак, величину і вірогідність зв'язку між вмістом пігментів і біомасою значно впливає розподіл водойм за гідрологічними умовами, а також за домінуванням у біомасі водоростей, які належать до певного відділу [15]. Виявлення зв'язку між цими показниками було проведено за допомогою кореляційного аналізу. Так, при ранжуванні досліджених озер на правобережні та лівобережні у більшості випадків встановлено достовірну пряму залежність між вмістом хлорофілу *a* і біомасою фітопланктону (табл. 2).

Порівняльний аналіз зв'язку між біомасою фітопланктону та вмістом каротиноїдів виявив достовірну позитивну залежність між цими показниками. На наш погляд, відсутність достовірного позитивного кореляційного зв'язку між зазначеними параметрами в деяких озерах може

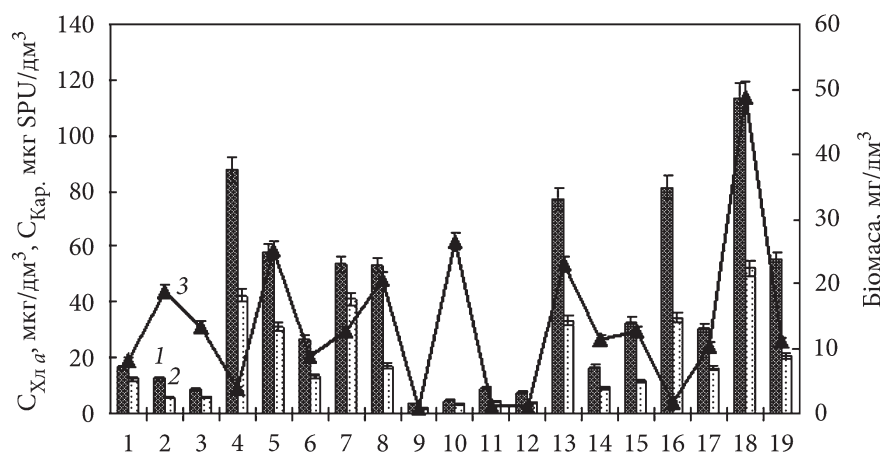


Рис. 3. Вміст хлорофілу *a* (1), каротиноїдів (2) та загальна біомаса фітопланктону (3) у досліджуваних озерах м. Києва

бути пов'язана з відсутністю чітко вираженого домінування представників водоростей одного з відділів. Це узгоджується з даними, отриманими для інших водойм [15, 40]. Так, наприклад, дисбаланс між концентрацією основного зеленого пігменту та кількістю біомаси (низькі значення вмісту хлорофілу *a* при високій біомасі) в оз. Голубому, очевидно, пов'язаний з домінуванням у ньому динофітової водорості *Peridiniopsis quadridens* (74,5 % від загальної біомаси).

Варто зазначити, що при ранжуванні досліджених озер з урахуванням домінуючого відділу водоростей (див. табл. 2), достовірні значення коефіцієнтів кореляції між вмістом досліджуваних пігментів та біомасою

Таблиця 2

Коефіцієнти кореляції між вмістом пігментів та біомасою планктонних водоростей при домінуванні в озерах м. Києва представників Cyanoprokaryota, Chlorophyta, Dinophyta + Bacillariophyta

Показники	Озера		Відділи, % від загальної біомаси		
	правобережні	лівобережні	Суанопрока- ryota	Chlorophyta	Dinophyta + Bacillario- phyta
			80—93 %	51—99 %	77—99 %
$C_{\text{Хл. а}}$	<i>n</i> = 20 0,79	<i>n</i> = 18 0,94	<i>n</i> = 14 0,59	<i>n</i> = 14 0,37	<i>n</i> = 6 0,51
$C_{\text{кар.}}$	0,55	0,96	0,57	0,24	0,50

Примітка. $C_{\text{Хл. а}}$ — концентрація хлорофілу *a*, мкг/дм³; $C_{\text{кар.}}$ — концентрація каротиноїдів, мкг SPU/дм³. Напівжирним шрифтом виділено коефіцієнти кореляції, достовірні при $P \leq 0,05$.

фітопланктону були отримані лише при домінуванні Cyanoprokaryota. При переважанні в біомасі представників Chlorophyta величини коефіцієнта кореляції помітно знижувались. На наш погляд, це могло бути обумовлено посиленням ролі дрібних форм зелених водоростей.

У той же час, при переважанні в біомасі фітопланктону досліджуваних водойм представників Dinophyta + Bacillariophyta не було виявлено достовірного зв'язку між вмістом пігментів та біомасою. Однак, згідно раніше отриманих нами даних [15], при переважанні у фітопланктоні представників цих відділів спостерігались достовірні позитивні значення коефіцієнтів кореляції між зазначеними параметрами. На наш погляд, відсутність достовірного зв'язку між вмістом пігментів та біомасою обумовлено недостатньою вибіркою даних.

Причиною зниження величини коефіцієнта кореляції між вмістом пігментів і біомасою у правобережних озерах порівняно з лівобережними може бути більший антропогенний вплив на першу групу водойм, до якої належать озера системи Опечень. Саме для них характерно підвищене забруднення води нафтопродуктами, важкими металами та хлоридами [32, 42, 44], внаслідок чого спостерігається погіршення екологічного стану водойм. Це може спричинити посилення розвитку дрібних форм зелених водоростей, що узгоджується з даними, отриманими для морських екосистем [2].

Для оцінки впливу хімічного складу води на кількісні показники розвитку водоростей було проведено співставлення даних щодо вмісту хлорофілу a у досліджуваних водоймах та концентрації $N_{\text{неорг.}}$, а також з величинами БО та співвідношення $N_{\text{неорг.}} / P_{\text{неорг.}}$ (рис. 4).

Було встановлено, що між концентрацією органічних речовин (БО) та вмістом пігментів у планктоні наявна достовірна позитивна залежність (для хлорофілу a : $r = 0,59$, для каротиноїдів: $r = 0,55$ при $n = 38$, $P \leq 0,05$). У той же час між концентрацією $N_{\text{неорг.}}$ та вмістом пігментів виявлено негативну залежність (для хлорофілу a : $r = -0,37$, для каротиноїдів: $r = -0,41$ при $n = 38$, $P \leq 0,05$). Аналогічну залежність було зареєстровано і для співвідношення $N_{\text{неорг.}} / P_{\text{неорг.}}$ (для хлорофілу a : $r = -0,32$, для каротиноїдів: $r = -0,32$ при $n = 38$, $P \leq 0,05$). Це узгоджується з даними, отриманими для інших водойм [9, 10, 14, 39].

Побічною характеристикою структури фітопланктону може бути і відносний вміст хлорофілу a ($C_{\text{хл.}}/V$). Так, величина $C_{\text{хл.}}/V \cdot 100$ у досліджуваних водоймах коливалась від 0,02 до 4,49 %. Практично, більшість значень цього показника була в діапазоні 0,15—0,69 %. Згідно даних деяких авторів [10, 28] найбільші його значення реєструються при домінуванні зелених водоростей, а нижчі — при різному співвідношенні усіх відділів водоростей. Отримані нами величини $C_{\text{хл.}}/V$ для фітопланктону озер м. Києва не перевищують значень, наведених у роботі В.І. Щербака із співавторам. [28]. Однак вони відрізняються від величин, отриманих Н.М. Мінеєвою із співавторами [19, 21] для фітопланктону водосховищ Волги. Причиною розходжень величин відносного вмісту хлорофілу a

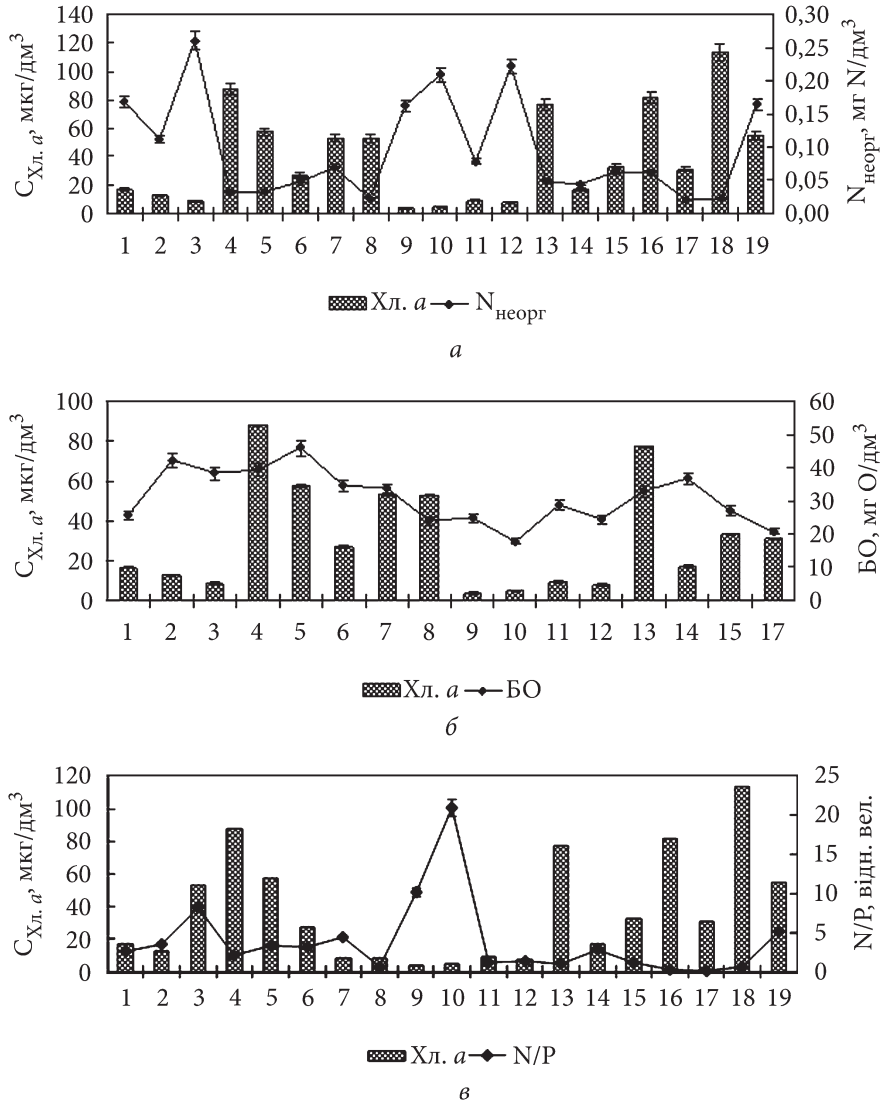


Рис. 4. Вміст хлорофілу *a* у фітопланктоні, концентрація $N_{неорг}$. (а) та величини БО (б) і співвідношення $N_{неорг} / P_{неорг}$ (в) у досліджуваних озерах м. Києва

може бути неоднаковий баланс різних розмірів клітин водоростей із цих відділів [10].

Важливим аспектом гідробіологічних досліджень є встановлення трофічного статусу водойм. Хлорофіл *a* та біомаса водоростей служать при цьому пріоритетними показниками. Проведене нами визначення трофічного статусу досліджуваних об'єктів за вмістом хлорофілу *a* відповідно до шкали, запропонованої В.В. Бульоном [3] та І.С.Трифоновою [26] свідчить про те, що більшість озер м. Києва можна віднести до евт-

рофного типу, а озера Голубе, Синє, Центральне, Вирлиця та Підбірна — до мезотрофного типу (див. табл. 1).

Досліджувані об'єкти за кількістю біомаси водоростей у планктоні відповідно до класифікації І.С.Трифонової [26] належать до: оліготрофних (оз. Синє), мезотрофних (оз. Вирлиця, Підбірна і Тягле) та евтрофних (озера Мінське, Лугове, Богатирське, Кирилівське, Йорданське, Центральне, Вербне, Голубе, Редьчине, Райдужне, Сонячне, Тельбін, Алмазне, Вигурівське та Лебедине) (див. табл. 1).

Висновки

Отримані результати показали, що досліджувані озера м. Києва помітно відрізняються за вмістом хлорофілу *a*, *b*, *c*, каротиноїдів та кількісними показниками розвитку фітопланктону, а саме — за кількістю видів, чисельністю та біомасою. При цьому гідрогенні водойми характеризувалися меншим середнім вмістом досліджуваних пігментів, а також середніми значеннями чисельності та біомаси планктонних водоростей порівняно зі штучними.

Виявлено, що зміни вмісту хлорофілу *a* та каротиноїдів у досліджуваних водоймах корелюють зі змінами біомаси фітопланктону. Відставання показників біомаси фітопланктону від кількості хлорофілу *a* та каротиноїдів, ймовірно, є свідченням зменшення розмірних характеристик клітин водоростей та перебудов структури альгоутронувань у відповідь на антропогенний вплив.

Відповідно до класифікації трофності водойм, більшість досліджуваних нами озер за вмістом хлорофілу *a* можна віднести до евтрофного типу. Це узгоджується з даними, отриманими при визначенні трофічного статусу озер за біомасою фітопланктону.

Список використаної літератури

1. Батог С.В. Еколого-гідрологічна характеристика водойм м. Києва: Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. Київ, 2018. 20 с.
2. Брянцева Ю.В. Изменчивость структурных характеристик фитопланктона Чёрного моря: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Севастополь. 2000. 23 с.
3. Бульон В.В. Первичная продукция и трофическая классификация водоёмов. Изучение первичной продукции планктона внутренних водоёмов. СПб.: Гидрометеоздат, 1993. С.147—158.
4. Елизарова В.А. Хлорофилл как показатель биомассы фитопланктона // Методические вопросы изучения первичной продукции планктона внутренних водоёмов. СПб.: Гидрометеоздат, 1993. С. 126—131.
5. Ермолаев В.И. Фитопланктон водоемов бассейна озера Сартлан. Новосибирск: Наука. Сибирское отделение, 1989. 96 с.
6. Зайцев Г.Н. Математическая статистика экспериментальной ботанике. М.: Наука. 1984. 423 с.
7. Клоченко П.Д., Иванова І.Ю., Ліліцька Г.Г. Видовий склад фітопланктону заплавних озер м. Києва. *Наук. зап. Терноп. нац. пед. ун-ту. Сер. Біологія*. 2012. № 3(52). С. 35—41.
8. Клоченко П.Д., Медведь В.О., Горбунова З.Н. та ін. Оцінка стану екосистеми оз. Центральне (м. Київ). *Современные проблемы гидробиологии. Перспективы, пути* ISSN 0375-8990. Гідробіологічний журнал. 2022. 58(1)

и методы исследований: Сб. тр. междунар. науч. конф. (24—27 июля 2006 г., Херсон). Херсон, 2006. С. 82—86.

9. Клоченко П.Д., Медведь В.О., Горбунова З.Н. та ін. Оцінка екологічного стану безстічних озер м. Києва // *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2010. 2(19). С. 168—174.

10. Корнева Л.Г. Формирование фитопланктона водоемов бассейна Волги под влиянием природных и антропогенных факторов: Автореф. дис. ... докт. биол. наук. СПб, 2009. 48 с.

11. Курейшевич А.В. Пигменты фитопланктона и факторы, влияющие на их содержание в водоеме (на примере днепровских водохранилищ: Автореф. дис... канд. биол. наук. Киев, 1983. 23 с.

12. Курейшевич А.В., Сиренко Л.А., Медведь В.А. Динамика фитопланктона и хлорофилла *a* в Днепровском водохранилище (Украина) в 1931—1993 гг. *Альгология*. 1997. Т. 7, № 1. С. 35—48.

13. Курейшевич А.В., Сиренко Л.А., Медведь В.А. Динамика фитопланктона и хлорофилла *a* в Каховском водохранилище (Украина) в 1956—1993 гг. *Альгология*. 2000. Т. 10, № 2. С. 152—167.

14. Курейшевич А.В., Сиренко Л.А., Усенко О.М., Медведь В.А. Содержание хлорофилла *a* в планктоне как показатель обилия водорослей в районах водозаборов. *Альгология*. 2001. Т. 11, № 4. С. 474—485.

15. Медведь В.А. Влияние азотсодержащих соединений воды на пигментные характеристики фитопланктона: Автореф. дис... канд. биол. наук. Киев, 1990. 18 с.

16. Методи гідроекологічних досліджень поверхневих вод / За ред. В.Д. Романенка. НАН України. Ін-т гідробіології. К.: Логос, 2006. 408 с.

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

18. Минеева Н.М. Растительные пигменты как показатели биомассы фитопланктона (Обзор). *Альгология*. 2011. Т.21. № 3. С. 385—395.

19. Минеева Н.М., Корнева Л.Г., Соловьева В.В. Содержание хлорофилла в единице биомассы фитопланктона водохранилищ Волжского каскада (Россия). *Альгология*. 2014. Т. 24. № 4. С.477—488.

20. Минеева Н.М., Метелева Н.Ю. Сравнительная характеристика продуктивности фитопланктона и эপিфитона водохранилищ верхней Волги. *Биология внутр. вод*. 2019. № 2. С. 33—41.

21. Минеева Н.М., Щур Л.А. Содержание хлорофилла в единице биомассы фитопланктона (Обзор). *Альгология*. 2012. Т. 22, № 4. С. 441—456.

22. Михеева Т.М. Оценка величин биомассы фитопланктона в озерах мира. *Гидробиол. журн*. 1975. Т.11, № 3. С. 90—104.

23. Пырина И.Л. Многолетние исследования содержания пигментов фитопланктона Рыбинского водохранилища. *Биология внутр. вод*. 2000. № 1. С. 37—44.

24. Разнообразие водорослей Украины / Е.В. Борисова, Л.Н. Бухтиярова, С.П. Вассер и др. *Альгология*. 2000. Т. 10, № 4. 309 с.

25. Трифонова И.С. Состав и продуктивность фитопланктона озер Карельского перешейка. Л.: Наука, 1979. 168 с.

26. Трифонова И.С. Оценка трофического статуса водоёмов по содержанию хлорофилла *a* в планктоне. Методические вопросы изучения первичной продукции планктона внутренних водоёмов. СПб.: Гидрометеиздат, 1993. С. 158—166.

27. Щербак В.И., Семенюк Н.Е. Использование фитопланктона для оценки экологического состояния водоемов мегаполиса согласно водной рамочной директиве ЕС 2000/60. *Гидробиол. журн*. 2008. Т. 44, № 6. С. 29—41.

28. Щербак В.И., Сиренко Л.А., Семенюк Н.Е. Содержание хлорофилла *a* в фитопланктоне урбанизированных территорий. *Гидробиол. журн*. 2007. Т. 43, № 3. С. 67—80.

29. Cano M.G., Casco M.A., Solari L.C. et al. Implications of rapid changes in chlorophyll *a* of plankton, epipelon, and epiphyton in a Pampean shallow lake: an interpretation in terms of a conceptual model. *Hydrobiologia*. 2008. Vol. 614, № 1. P. 33—45.
30. Carstensen J., Henriksen P. Phytoplankton biomass response to nitrogen inputs: a method for WFD boundary setting applied to Danish coastal waters. *Hydrobiologia*. 2009. Vol. 633, № 1. P. 137—149.
31. 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.
32. 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. *Hydrobiol. J.* 2021. Vol. 57, N 3. P. 95—101.
33. Honti M., Istvanovics V., Osztoics A. Stability and change of phytoplankton communities in a highly dynamic environment — the case of large, shallow Lake Balaton (Hungary). *Hydrobiologia*. 2007. Vol. 581, № 1. P. 225—240.
34. Ivanova I.Yu., Kharchenko G.V., Klochenko P.D. Higher aquatic vegetation of water bodies of the town of Kiev. *Hydrobiol. J.* 2007. Vol. 43, N 3. P. 36—56.
35. 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.
36. 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. *Hydrobiol. J.* 2015. Vol. 51, N 3. P. 45—60.
37. Klochenko P.D., Shevchenko T.F., Kharchenko G.V. Structural organization of phytoplankton and phytoepiphyton of the lakes of Kiev. *Hydrobiol. J.* 2013. Vol. 49, N 4. P. 47—63.
38. 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. *Hydrobiol. J.* 2019. Vol. 55, N 3. P. 29—43.
39. Lampert W., Sommer U., Limnoecology. 2^{ed} ed. Oxford: Oxford University Press. 2007. 324 p.
40. 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.
41. 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.
42. 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.
43. Shevchenko T.F., Klochenko P.D., Kharchenko G.V., Gorbunova Z.N. Phytoepiphyton of megalopolis lakes under conditions of anthropogenic influence. *Hydrobiol. J.* 2021. Vol. 57, N 4. P. 48—63.
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. *Hydrobiol. J.* 2000. Vol. 36, N 5. P. 140—155.
45. 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.
46. Tsarenko P.M., Wasser S.P., Nevo E. Algae of Ukraine: diversity, nomenclature, taxonomy, ecology and geography. Cyanoprokaryota, Euglenophyta, Chrysophyta, Xanthophyta, Raphidophyta, Phaeophyta, Dinophyta, Cryptophyta, Glaucocystophyta, Rhodophyta. (Vol. 1). Ruggell: Gantner Verlag, 2006. 713 p.

Надійшла 08.02.2022

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

G.V. Kharchenko, PhD (Biol.), Researcher,
Institute of Hydrobiology of the NAS of Ukraine,
12 Geroyiv Stalingrada Ave, Kyiv, 04210, Ukraine

PIGMENT AND QUANTITATIVE INDICATORS OF PHYTOPLANKTON OF
LAKES OF THE MEGALOPOLIS AND ASSESSMENT OF THEIR TROPHIC STATUS

Pigment and quantitative indicators of phytoplankton of lakes of the metropolis and assessment of their trophic status. The content of photosynthetic pigments (chlorophyll *a*, *b*, *c* and carotenoids) and quantitative indicators of phytoplankton in 19 lakes of Kyiv, which differ in origin, hydrological conditions and the degree of anthropogenic load, were studied. It was found that the studied lakes correlate with the biomass of phytoplankton. The detected lag of planktonic algae biomass values from the concentration of chlorophyll *a* and carotenoids is evidence of a decrease in the dimensional characteristics of algae cells and the rearrangement of algal groups in response to anthropogenic load. Most lakes in Kyiv can be classified as eutrophic in terms of chlorophyll *a* content and phytoplankton biomass.

Keywords: *phytoplankton, chlorophyll a, b, c, carotenoids, numbers, biomass, trophic status, lakes of Kyiv.*