

ЗАГАЛЬНА ГІДРОБІОЛОГІЯ

УДК 581.526.44:504.05:574.5

Т.Ф. ШЕВЧЕНКО, к. б. н., ст. наук. співроб., ст. наук. співроб.,
Інститут гідробіології НАН України,
просп. Володимира Івасюка, 12, Київ, 04210, Україна
e-mail: tf_shevchenko@ukr.net
ORCID 0000-0002-6436-4968

П.Д. КЛОЧЕНКО, д. б. н., проф., завідувач відділу,
Інститут гідробіології НАН України,
просп. Володимира Івасюка, 12, Київ, 04210, Україна
e-mail: pklochenko@ukr.net
ORCID 0000-0003-4886-6746

Г.В. ХАРЧЕНКО, к. б. н., наук. співроб.,
Інститут гідробіології НАН України,
просп. Володимира Івасюка, 12, Київ, 04210, Україна
ORCID 0000-0002-6102-2129

УГРУПОВАННЯ ВОДОРОСТЕЙ ЕПІФІТОНУ В УМОВАХ КОМПЛЕКСНОГО АНТРОПОГЕННОГО ЗАБРУДНЕННЯ ВОДОЙМ

Структуру угруповань водоростей епіфітону досліджували у Горіховатських ставках Національного природного парку «Голосіївський», що відрізняються за ступенем антропогенного забруднення. В результаті проведеного аналізу оригінальних та літературних даних встановлено, що перша водойма у каскаді Горіховатських ставків характеризувалась значно вищим ступенем комплексного антропогенного забруднення (неорганічними сполуками азоту, органічними речовинами, нафтопродуктами, аніонними синтетичними поверхнево-активними речовинами та деякими важкими металами) порівняно з іншими ставками каскаду. Значно відрізнялися між собою і типи угруповань водоростей епіфітону (синтаксони), виділені у водоймах з різним ступенем забруднення. Угруповання водоростей епіфітону, знайдені у першому ставку, належать до асоціації *Gomphoneta parvuli-Naviculetum capitatoradiatae*, а угруповання фітоепіфітону, зареєстровані у трьох інших ставках — до асоціації *Cocconeo placentulae-Naviculetum viridulae*. Встановлено, що довготривале забруднення водойм призводить до суттєвої трансформації структури угруповань водоростей епіфітону, які розвиваються на вищих водних рослинах, в результаті якого види чутливі до забруднення заміщуються більш стійкими організмами. Формування угруповань фітоепіфітону, в яких з високою частотою зустрічаються такі види як *Gomphoneta parvulum* Kütz. і *Nitzschia palea* (Kütz.) W. Sm. (нетипові для епіфітону і стійкі до забруднення), і значне зниження частоти трапляння найбільш розповсюджених видів таких як *Cocconeis placentula* Ehrenb., які часто зустрічаються і домінують в епіфітоні звичайних водойм і чутливі до забруднення,

Ц и т у в а н н я: Шевченко Т.Ф., Клоченко П.Д., Харченко Г.В. Угруповання водоростей епіфітону в умовах комплексного антропогенного забруднення водойм. *Гідробіол. журн.* 2025. Т. 61, № 6. С. 3—24.

може свідчити про довготривале (хронічне) забруднення водойм. Отримані результати можуть бути використані для синбіоіндикації стану водойм з різним ступенем забруднення та при проведенні екологічного моніторингу.

Ключові слова: водорості епіфітону, угруповання, метод Браун-Бланке, хімічний склад води, комплексне антропогенне забруднення, Горіховатські ставки, Національний природний парк «Голосіївський».

Одним із найважливіших завдань гідроекології є оцінка стану водних екосистем та виявлення змін в угрупованнях гідробіонтів за дії антропогенного забруднення водойм. При цьому для характеристики стану водних об'єктів та виявлення змін, які відбуваються в їхніх екосистемах за дії зазначеного зовнішнього чинника, досить важливим є вибір адекватних і надійних показників. Серед них особливе значення мають структурні і кількісні показники угруповань водоростей, які є досить чутливими до дії екологічних чинників і мають більшу цінність, ніж чисельність та біомаса окремих видів [21, 22]. Трансформація видового складу і рясності альгоугруповань віддзеркалює як моно-, так і мультифакторний вплив на водні екосистеми і дозволяє надійно охарактеризувати стан водних об'єктів та виявити зміни в їхніх екосистемах за дії несприятливих чинників.

Невід'ємною складовою водних екосистем є водорості, що розвиваються на вищих водних рослинах [16, 19]. Оскільки ці організми ведуть прикріплений спосіб існування, саме структура їхніх угруповань адекватно віддзеркалює поточний стан водного середовища та перебудови у гідроекосистемах в умовах комплексної дії антропогенних чинників на водні об'єкти [17, 18]. Отже, в розрізі зазначеного, на сьогодні вкрай важливим завданням є виділення та опис угруповань водоростей епіфітону. В цьому відношенні дослідниками вже здійснені певні напрацювання. Так, застосування методу Браун-Бланке, який широко використовується при ценологічних дослідженнях, дало можливість описати угруповання водоростей епіфітону, які розвиваються в обростанні вищих водних рослин озер м. Києва [25, 27], ставків дендропарку «Олександрія» (м. Біла Церква) [28] та Канівського водосховища [26], а також зелених нитчастих водоростей у водосховищах Дніпровського каскаду [23]. Прикладом використання зазначеного методу для характеристики угруповань перифітонних водоростей інших субстратів є роботи як українських [24], так і закордонних [13, 20] фахівців.

Серед численних водних об'єктів, які зазнають посиленого антропогенного впливу, варто відзначити водойми, що розташовані на території такого мегаполісу як м. Київ. В його межах знаходиться Національний природний парк (НПП) «Голосіївський» з каскадом ставків, більшість із яких розташована неподалік різних інфраструктурних об'єктів та зазнає посиленого рекреаційного навантаження.

Метою роботи було дослідження структури угруповань водоростей епіфітону, що розвиваються в обростанні вищих водних рослин у водо-

ймах з різним ступенем забруднення органічними та неорганічними речовинами, та класифікація виділених угруповань.

Матеріал і методика досліджень

Дослідження проводили у липні 2019, 2021 і 2022 рр. на території Національного природного парку (НПП) «Голосіївський» (50°22'47" N, 30°30'21" E) у каскаді Горіховатських ставків, які включають чотири водойми. Їхня загальна площа становить 46,3 тис. м² [1]. Живлення водойм здійснюється за рахунок р. Горіховатки, джерельної води та атмосферних опадів. Карту-схему водойм парку наведено у роботі [5].

Досліджувані ставки відрізняються за ступенем заростання їхньої акваторії вищими водними рослинами. Так, характерною особливістю рослинного покриву ставка № 1 (площа водного дзеркала — 5,90 тис. м²) є наявність у його верхній частині заболоченої ділянки, зарослої вищими водними рослинами (переважно *Typha latifolia* L. з невеликими домішками *Typha angustifolia* L. і *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud.). Площа її становить близько 12 % від усієї акваторії водойми [1]. Вздовж більшої частини лівого берега ставка № 1 та дамби, що розділяє його із ставком № 2, тягнеться смужка заростей вищих водних рослин (шириною біля 2 м), сформована переважно *T. latifolia*. Біля лівого берега ставка спостерігаються також окремі куртини *Scirpus lacustris* L., *Sagittaria sagittifolia* L., *Vallisneria spiralis* L. та *Sparganium erectum* L. В літній період надзвичайного розвитку досягає *Trapa natans* L., угруповання якого покривають майже 50 % акваторії.

Для ставка № 2 (площа 7,40 тис. м²) характерним є слабке заростання водного дзеркала вищими водними рослинами (біля 8 %). Вони представлені переважно *T. latifolia*, зарості якого (з домішками *T. angustifolia* і *Glyceria maxima* (C. Hartm.) Holmb.) у вигляді смужки (шириною 2—3 м) наявні вздовж лівого берега водойми.

Характерною особливістю рослинного покриву ставка № 3 (площа 9,70 тис. м²) є домінування ценозів повітряно-водних і рослин з плаваючим листям. Перше угруповання макрофітів представлено *T. latifolia*, *T. angustifolia* та *Ph. australis*, а друге — *Nuphar lutea* L. Варто зазначити, що зарості гелофітів займають біля 15 % акваторії водойми і знаходяться переважно у верхній частині ставка та вздовж лівого (північного) берега і біля дамби, тоді як зарості *N. lutea* у вигляді смужки шириною 3—5 м тягнуться вздовж правого (південного) берега водойми.

Для рослинного покриву ставка № 4 (найбільшого у каскаді з площею 23,3 тис. м²), характерним є домінування високотравних повітряно-водних рослин — *T. latifolia*, *T. angustifolia*, в меншій мірі — *S. lacustris* та *Ph. australis*. Зарості цих рослин займають біля 12 % водного дзеркала ставка і зосереджені переважно у його верхній частині і, зрідка, в інших місцях водойми. Укорінені з плаваючим на поверхні листям гідрофіти *N. lutea* відмічені у нижній частині водойми (біля правого берега). Їхня роль у формуванні рослинного покриву ставка невелика — біля 2 %.

Проби фітоепіфітону відбирали з повітряно-водних рослин: очерету звичайного (*Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud.), рогозу вузьколистого (*Typha angustifolia* L.), рогозу широколистого (*Typha latifolia* L.), сусака зонтичного (*Butomus umbellatus* L.), комиша озерного (*Scirpus lacustris* L.), стрілолиста звичайного (*Sagittaria sagittifolia* L.), їжачої голівки прямої (*Sparganium erectum* L.) та лепешняка великого (*Glyceria maxima* (C. Hartm.) Holmb.), використовуючи загальноприйняті у практиці гідробіологічних досліджень методи [7, 12]. Частина проб проливалися у живому стані, а інші (об'ємом 50 см³) фіксували 40 %-ним розчином формальдегіду (із кінцевою концентрацією 4 %). Чисельність фітоепіфітону визначали на рахунковій платівці у краплі об'ємом 0,1 см³, відібраної за допомогою штепель-піпетки. Чисельність та біомасу водоростей епіфітону розраховували на 1 г повітряно-сухої маси рослини-субстрату і виражали відповідно у млн. кл/г і в мг/г.

Латинські назви і обсяг таксонів водоростей наведені у відповідності до класифікаційних систем [29—32]. Екологічні характеристики водоростей-індикаторів наведені згідно [2, 4, 15, 33].

Видовий склад водоростей, знайдених у різних водоймах, порівнювали з використанням коефіцієнта флористичної подібності (КФП) Серенсена [7].

Для оцінки рясності видів використовували модифіковану шкалу Браун-Бланке, де 1 — випадковий вид (<1 % загальної чисельності); 2 — супутній вид (1—5 %); 3 — субдомінант (>5—10 %); 4 — содомінант і 5 — домінант (>10 % загальної чисельності). Трапляння кожного виду розраховували за формулою: $C = n/N \cdot 100$ %, де C — наявність виду в певному блоці описів, n — кількість проб у даному блоці описів, де зустрівся вид, N — загальна кількість проб у даному блоці описів. При оцінці трапляння видів були прийняті наступні класи постійності: I — трапляння виду 1—20 %, II — 21—40 %, III — 41—60 %, IV — 61—80 %, V — 81—100 %. Угруповання водоростей класифікували, використовуючи метод Браун-Бланке. Дані опрацьовували традиційним методом фітоценологічних таблиць, які використовуються при еколого-флористичних дослідженнях [8, 9]. Всього в основу роботи покладено 30 описів. Найменування синтаксонів наведено у відповідності до «Міжнародного кодексу фітосоціологічної номенклатури» [34].

Концентрацію неорганічних сполук азоту і фосфору визначали колориметричним методом, хлоридів — методом Мора, сульфатів — об'ємним методом, а розчинених органічних речовин — за перманганатною та біхроматною окиснюваністю (відповідно ПО і БО) [10]. Величину рН вимірювали за допомогою приладу рН-150 МИ.

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

Результати досліджень

Характеристика досліджуваних ставків за гідрохімічними показниками. Відомо, що серед багатьох чинників, які обумовлюють якість води

природних і штучних водойм, одним із основних є вміст органічних і біогенних речовин. Вони накопичуються у водоймах внаслідок змиву з водозбірної площі та складних внутрішньоводоймних процесів. Істотний внесок у формування хімічного складу води можуть вносити атмосферні опади і різноманітні стічні води.

Найважливішими біогенними елементами для функціонування будь-якої водойми є азот і фосфор. Отримані дані свідчать, що досліджені ставки НПП «Голосіївський» суттєво відрізнялись за вмістом неорганічних сполук азоту. Так, у ставку № 1 середня концентрація $N_{\text{неорг}}$ складала 0,352 мг/дм³, а у ставках № 2, 3 і 4 — 0,178, 0,118 і 0,122 мг/дм³, відповідно (табл. 1). Найбільш помітною була різниця у кількості йонів амонію: якщо у ставку № 1 їхня концентрація становила 0,290 мг N/дм³, то в інших в середньому коливалась від 0,101 до 0,127 мг N/дм³.

На відміну від неорганічного азоту, найвищу середню концентрацію неорганічного фосфору було зареєстровано у ставку № 4, де вона дорівнювала 0,241 мг/дм³ проти 0,049 мг/дм³ у ставку № 1 (див. табл. 1).

Таблиця 1

Гідрохімічна характеристика Горіховатських ставків НПП «Голосіївський»

Показники	Ставки			
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4
NH_4^+ , мг N/дм ³	0,198–0,445	0,060–0,168	0,050–0,130	0,070–0,127
	0,290	0,127	0,101	0,106
NO_2^- , мг N/дм ³	0,004–0,016	0,003–0,009	0,002–0,007	0,003–0,006
	0,012	0,007	0,004	0,005
NO_3^- , мг N/дм ³	0,025–0,075	0,025–0,069	0,010–0,020	0,009–0,010
	0,050	0,044	0,013	0,010
$N_{\text{неорг}}$, мг/дм ³	0,269–0,449	0,100–0,246	0,073–0,142	0,086–0,140
	0,352	0,178	0,118	0,122
$P_{\text{неорг}}$, мг/дм ³	0,016–0,066	0,038–0,097	0,116–0,200	0,202–0,295
	0,049	0,074	0,165	0,241
Cl^- , мг/дм ³	70,9–128,5	101,0–130,7	132,9–203,8	169,6–234,8
	103,2	120,4	175,3	207,3
SO_4^{2-} , мг/дм ³	25,9–47,1	39,4–48,8	39,8–55,2	73,0–96,0
	35,4	44,3	49,8	85,0
ПО, мг O/дм ³	10,84–10,90	9,00–9,30	8,10–9,56	7,40–10,84
	10,87	9,18	8,78	8,64
БО, мг O/дм ³	48,0–62,9	46,4–60,9	41,6–56,0	35,2–50,2
	55,4	53,6	48,8	42,7
рН	7,22–8,55	7,35–8,85	7,33–8,00	7,92–8,45
	7,65	7,99	7,66	8,22

Примітка. Над рискою — граничні величини; під рискою — середні значення.

Одним із важливих показників якості води є вміст хлорид- та сульфат-іонів, яким хоча і належить чільне місце серед основних компонентів сольового складу води, проте їхній підвищений вміст може свідчити про забруднення водойм господарськими стічними водами. Під час проведених досліджень найвищою середньою концентрацією як хлоридів, так і сульфатів характеризувався ставок № 4 — 207,3 і 85,0 мг/дм³, відповідно. Щодо першого ставка у каскаді досліджуваних водойм, то середня концентрація зазначених неорганічних речовин тут становила відповідно 103,2 і 35,4 мг/дм³ (див. табл. 1).

Визначення концентрації легкоокиснюваних органічних сполук у воді досліджуваних водойм, яка оцінюється величиною перманганатної окиснюваності, засвідчило, що в середньому вона була в 1,25 раза вищою у ставку № 1 порівняно із ставком № 4 (див. табл. 1).

Аналіз величин біхроматної окиснюваності, які характеризують загальний вміст розчинених органічних речовин, показав, що вони були найбільшими у ставку № 1 — 62,9 мг О/дм³, тоді як в інших ставках значення БО помітно менші, зокрема, у ставку № 4 вони знижувались до 35,2 мг О/дм³ (див. табл. 1).

Характеристика фітоепіфітону досліджуваних ставків. Використання еколого-флористичного методу дало змогу виділити декілька типів угруповань водоростей епіфітону (синтаксонів), що розвиваються у водоймах із різним ступенем забруднення органічними та неорганічними речовинами (табл. 2). Нижче наведено їхню характеристику. Проведені дослідження дали змогу виділити новий союз, який включає угруповання водоростей епіфітону, що розвиваються у Горіховатських ставках НПП «Голосіївський», у складі якого виділено дві асоціації.

Союз *Cymbello tumidae-Cymbellion cistulae* all. nova (описи 1—15, табл. 3 і 16—30, табл. 5).

Екологічні умови. Угруповання водоростей епіфітону, які належать до даного союзу, знайдені в усіх чотирьох Горіховатських ставках НПП «Голосіївський», що характеризуються більш високою концентрацією забруднюючих речовин порівняно з іншими ставками парку [18]. Так, середня концентрація амонійного азоту у цих водоймах змінювалась від 0,101 до 0,290 мг N/дм³, нітритів — від 0,004 до 0,012 мг N/дм³, нітратів — від 0,010 до 0,050 мг N/дм³, а загального неорганічного азоту — від 0,118 до 0,352 мг N/дм³. Середня концентрація неорганічного фосфору становила 0,049—0,241 мг/дм³, хлоридів — 103,2—207,3 мг/дм³ та сульфатів — 35,4—85,0 мг/дм³. Концентрація органічних речовин також була досить високою (значення ПО в середньому становили 8,64—10,87 мг О/дм³, а значення БО — 42,7—55,4 мг О/дм³). У воді Горіховатських ставків виявлені і найвищі концентрації нафтопродуктів, аніонних синтетичних поверхнево активних речовин (СПАР) і деяких важких металів (Cu, Zn, Fe) [5].

Екологічні характеристики діагностичних таксонів. Усі діагностичні таксони даного союзу є індикаторами умов навколишнього середовища. За приуроченістю до місцезростання знайдені лише бентосні ор-

Таблиця 2

Оглядова таблиця синтаксонів фітоепіфітону Горіховатських ставків НПП «Голосіївський»

Синтаксони	1	2
Кількість описів	15	15
Діагностичні таксони союзу <i>Cymbello tumidae-Cymbellion cistulae</i>		
<i>Cymbella tumida</i> (Bréb.) Van Heurck	V ⁵	V ⁵
<i>Cymbella cistula</i> (A. Hempel in A. Hempel et Ehrenb.) Kirchn.	V ⁵	IV ⁵
<i>Gomphonema truncatum</i> Ehrenb.	V ⁵	IV ⁵
<i>Synedra ulna</i> (Nitzsch) Ehrenb.	V ⁵	IV ⁵
<i>Encyonema caespitosum</i> Kütz.	V ⁵	IV ⁵
<i>Gomphonema gracile</i> Ehrenb.	IV ⁵	III ⁵
<i>Planothidium lanceolata</i> (Bréb. in Kütz.) Round et Bukht.	IV ⁵	III ⁵
<i>Gomphonema augur</i> Ehrenb.	II ³	III ³
Діагностичні таксони асоціації <i>Gomphonemo parvuli-Naviculetum capitatoradiatae</i>		
<i>Gomphonema parvulum</i> Kütz.	V ⁵	II ²
<i>Navicula capitatoradiata</i> H. Germain ex Gasse	V ³	II ²
<i>Craticula cuspidata</i> (Kütz.) D.G. Mann	IV ⁵	I ¹
<i>Nitzschia palea</i> (Kütz.) W. Sm.	III ⁵	I ¹
Діагностичні таксони асоціації <i>Cocconeo placentulae-Naviculetum viridulae</i>		
<i>Cocconeis placentula</i> Ehrenb.	II ²	V ⁵
<i>Navicula viridula</i> (Kütz.) Ehrenb.	—	III ²
<i>Melosira varians</i> C. Agardh	—	IV ⁵
<i>Closterium lieblenii</i> Kütz. ex Ralfs	II ²	IV ³
<i>Synedra acus</i> Kütz.	—	III ³

Примітка. 1 — асоціація *Gomphonemo parvuli-Naviculetum capitatoradiatae*; 2 — асоціація *Cocconeo placentulae-Naviculetum viridulae*. Римськими цифрами позначені класи постійності. Надрядкові індекси вказують максимальний бал рясності виду. «—» — вид не знайдено.

ганізми. Серед видів — індикаторів рН середовища найбільшою кількістю представлені алкаліфіли (86 %). Частка індиферентних організмів становила 14 %. Серед індикаторів солоності води знайдені лише індиферентні організми. Серед показників трофічного рівня найбільшим був внесок представників мезо-евтрофних (43 %) і евтрофних (29 %) вод і значно меншим — внесок представників мезотрофних (14 %) і оліго-евтрофних (14 %) вод. Серед видів — індикаторів органічного забруднення найбільшою кількістю представлені бета-мезосапробні організми (50 %). Внесок α-мезосапробіонтів становив 25 %, оліго-сапробіонтів — 25 %. По

відношенню до типу живлення та кількості азотовмісних органічних сполук у воді найбільшою кількістю видів представлені автотрофи, які витримують лише низькі концентрації азотовмісних органічних сполук (83 %). Друге місце належало автотрофам, які витримують підвищені концентрації азотовмісних органічних сполук у воді (17 %) (табл. 4).

Діагностичні таксони: *Cymbella tumida* (Bréb.) Van Heurck, *Cymbella cistula* (A. Hempel in A. Hempel et Ehrenb.) Kirchn., *Gomphonema truncatum* Ehrenb., *Synedra ulna* (Nitzsch) Ehrenb., *Encyonema caespitosum* Kütz., *Gomphonema gracile* Ehrenb., *Planothidium lanceolata* (Bréb. in Kütz.) Round et Bukht., *Gomphonema augur* Ehrenb.

Номенклатурний тип: опис 1, табл. 3, Горіховатський ставок № 1, в обростанні сусака зонтичного *Butomus umbellatus*.

Асоціація *Gomphonema parvuli-Naviculetum capitatoradiatae* ass. nova (описи 1—15, табл. 3).

Екологічні умови. Угрупування водоростей епіфітону, які належать до даної асоціації, знайдені у Горіховатському ставку № 1, де зареєстровано значно вищі концентрації сполук неорганічного азоту, органічних речовин, нафтопродуктів, аніонних синтетичних поверхнево-активних речовин і деяких важких металів порівняно з іншими ставками каскаду. Так, середня концентрація амонійного азоту у цій водоймі становила 0,290 мг N/дм³, нітритів — 0,012 мг N/дм³, нітратів — 0,050 мг N/дм³, а загального неорганічного азоту — 0,352 мг N/дм³. Концентрація органічних речовин також була вищою у порівнянні з іншими ставками каскаду (значення ПО в середньому становили 10,87 мг O/дм³, а значення БО — 55,4 мг O/дм³). У ставку № 1 середня концентрація нафтопродуктів (0,124 мг /дм³) була майже в два рази вищою, ніж у ставках № 2, 3 і 4. Така ж тенденція простежувалась і щодо СПАР та важких металів. Середня концентрація СПАР становила 0,121 мг/дм³, Cu — 65,1 мкг/дм³, Zn — 73,0 мкг/дм³ і Fe — 91,0 мкг/дм³ [5]. В той же час середні значення концентрації неорганічного фосфору (0,049 мг/дм³), хлоридів (103,2 мг/дм³) і сульфатів (35,4 мг/дм³) були нижчими порівняно з іншими ставками каскаду (табл. 1).

Структура угруповань. Видове багатство угруповань водоростей, які відносяться до даної асоціації, невисоке. Знайдено 48 видів водоростей, представлених 50 внутрішньовидовими таксонами (включаючи ті, що містять номенклатурний тип виду) з п'яти відділів. Найбільш різноманітні Bacillariophyta — 29 видів (60,4 % загальної кількості видів) і Chlorophyta — 13 видів (27,1 %). Частка водоростей з інших відділів була значно нижчою. Внесок Euglenophyta (3 види), Cyanoprokaryota (1 вид) і Charophyta (2 види) в сумі становив 12,5%.

Середня кількість видів в окремих угрупованнях невисока — 19.

Кількісні показники розвитку епіфітних водоростей даної асоціації на повітряно-водних рослинах Горіховатського ставка № 1 невисокі: середні значення чисельності і біомаси становили відповідно 0,573 млн. кл/г і 0,67 мг/г повітряно-сухої маси рослини-субстрату. За чисельністю переважали діатомові водорості, їхній внесок у загальну чисельність фі-

Таблиця 3

Асоціація *Gomphonema parvuli-Naviculetum capitatoradiatae* ass. nova

Кількість видів	23	18	16	20	24	23	16	18	17	18	16	17	18	20	17	16	18	16	16	Const		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15							
Номер описів																						
Діагностичні таксоми союзу <i>Symbello tumidae-Symbellion cistulae</i>																						
<i>Symbella tumida</i> (Bréb.) Van Heurck	5	4	5	5	5	4	3	4	3	4	4	3	4	4	3	4	4	5	4	5	V ⁵	
<i>Symbella cistula</i> (A. Hempel in A. Hempel et Ehrenb.) Kirchn.	5	3	4	5	4	4	4	4	3	5	3	4	5	3	4	3	5	3	4	5	V ⁵	
<i>Gomphonema truncatum</i> Ehrenb.	5	3	3	4	4	5	3	3	4	4	4	3	4	5	3	4	3	3	4	3	V ⁵	
<i>Synedra ulna</i> (Nitzsch) Ehrenb.	4	5	5	5	5	4	4	4	4	4	5	4	4	5	4	5	5	4	5	5	V ⁵	
<i>Encyonema caespitosum</i> Kütz.	3	4	3	5	3	3	3	3	4	3	3	4	3	3	3	5	3	3	4	3	V ⁵	
<i>Gomphonema gracile</i> Ehrenb.	4	3	3	5	5	3	3	3	4	3	3	4	3	4	3	3	3	3	4	3	IV ⁵	
<i>Planolithidium lanceolata</i> (Bréb. in Kütz.) Round et Bukht.	2	3	4	5	2	4	3	3	3	3	4	3	3	4	3	4	2	4	4	2	IV ⁵	
<i>Gomphonema augur</i> Ehrenb.	2		3		2	2	3		3		2	3		2		2	2		2	2	II ³	
Діагностичні таксоми асоціації <i>Gomphonema parvuli-Naviculetum capitatoradiatae</i>																						
<i>Gomphonema parvulum</i> Kütz.	5	4	3	4	5	3	5	4	5	4	5	4	5	4	5	5	4	4	5	4	5	V ⁵
<i>Navicula capitatoradiata</i> H. Germain ex Gasse	3	2	2	2	3	2	2	3	2	2	2	2	2	3	2	2	3	3	2	3	3	V ³
<i>Craticula cuspidata</i> (Kütz.) D.G. Mann	5	3	4	3	4	4	4	5	4	4	4	4	4	4	3	3	3	4	3	4	3	IV ⁵
<i>Nitzschia palea</i> (Kütz.) W. Sm.	3	4	5	3	3	3	4	4	5	4	4	5	3	5	3	3	4	4	3	5	4	III ⁵

Продовження табл. 3

Кількість видів	23	18	16	20	24	23	16	18	17	18	16	17	20	18	16	Const	
																15	14
Номер описів	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
Інші таксоми																	
<i>Euglena acus</i> Ehrenb.		2					2		2				2				П ²
<i>Navicula cruptosephala</i> Ehrenb.	2			2		2			2			2				2	П ²
<i>Navicula veneta</i> Kütz.		2	2			2		2				2					П ²
<i>Rhopalodia gibba</i> (Ehrenb.) O. Müll.		2			2			2				2				2	П ²
<i>Amphora veneta</i> Kütz.			2			2			2			2					П ²
<i>Closterium lieblenii</i> (Kütz.) ex Ralfs		2		2		2			2			2				2	П ²
<i>Pediastrum duplex</i> Meyen	2		2			2		2	2			2					П ²
<i>Monoraphidium contortum</i> (Thurpin) Komárk-Legn.			2	2			2		2			2				2	П ²
<i>Acutodesmus pectinatus</i> (Meyen) P. Tsarenko					2			2		2		2	2				П ²
<i>Actinastrum hanthzshii</i> Lagerh.	2		2			2			2			2				2	П ²

Примітка. У графах таблиць 3 і 5: римськими цифрами позначені класи постійності, а арабськими – бали рясності за шкалою Браун-Бланке. Види водоростей, постійність яких становила менше 20%, а відносна рясність – менше 1%, у таблицях не наводяться.

Локалізація описів: Горіховатський ставок № 1 (1–15): 1–5 – 08.2019, 6–10 – 08.2021, 11–15 – 08.2022. Сусак зонтичний *Vitotinus umbellatus* – (1, 7, 12), рогіз вузьколистий *Typha angustifolia* – (4, 15), рогіз широколистий *Typha latifolia* – (2, 9, 14), комиш озерний *Scirpus lacustris* – (10, 13), стрілолист звичайний *Sagittaria sagittifolia* – (3, 8, 11), їжача голівка пряма *Sparganium erectum* L. – (5, 6).

Таблиця 4

Екологічні характеристики діагностичних таксонів водоростей епіфітону
Горіховатських ставків НПП «Голосіївський»

Види	L	pH	Hb	N	S	Tr
<i>Cymbella tumida</i> (Bréb.) Van Heurck	B	alf	i	ats	o	me
<i>Cymbella cistula</i> (A. Hempel in A. Hempel et Ehrenb.) Kirchn.	B	alf		ats	β	e
<i>Gomphonema truncatum</i> Ehrenb.	B	alf		ats	β	me
<i>Synedra ulna</i> (Nitzsch) Ehrenb.	B	alf	i		β	
<i>Encyonema caespitosum</i> Kütz.	B				α	oe
<i>Gomphonema gracile</i> Ehrenb.	B	ind	i	ats	o	m
<i>Planothidium lanceolata</i> (Bréb. in Kütz.) Round et Bukht.	B	alf	i	ate	α	e
<i>Gomphonema augur</i> Ehrenb.	B	alf	i	ats	β	me
<i>Cocconeis placentula</i> Ehrenb.	B	alf	i	ate	β	e
<i>Navicula viridula</i> (Kütz.) Ehrenb.	B	alf	hl	ate	α	e
<i>Melosira varians</i> C. Agardh	P-B	alf	hl	hne	α	e
<i>Closterium lieblenii</i> (Kütz.) ex Ralfs	B	ind			α	e
<i>Synedra acus</i> Kütz.	P-B	alb			β	
<i>Gomphonema parvulum</i> Kütz.	B	ind	i	hne	α-ρ	e
<i>Navicula capitatoradiata</i> H. Germain ex Gasse	B	alf	i	ate	α	e
<i>Craticula cuspidata</i> (Kütz.) D.G. Mann	B	alf	i	ate	α	e
<i>Nitzschia palea</i> (Kütz.) W. Sm.	B	ind	i	hce	ρ	he

Примітка. L — місцезростання, Hb — відношення до солоності води, N — відношення до концентрації азотовмісних органічних сполук, S — сапробність, Tr — трофність [2, 4, 33].

тоєпіфітону в середньому становив 90,3 %. Зелені водорості домінували зрідка, їхня частка в загальній чисельності в середньому становила 73,2%. За біомасою переважали діатомові водорості (95,8%).

До складу домінантів входили *Gomphonema parvulum* Kütz., *Craticula cuspidata* (Kütz.) D.G. Mann і *Nitzschia palea* (Kütz.) W. Sm.

Екологічні характеристики діагностичних таксонів. Усі чотири діагностичні види даної асоціації є індикаторами умов навколишнього середовища (див. табл. 4). За приуроченістю до місцезростання вони належать до бентосних організмів. Ці види також є індикаторами забруднення води органічними речовинами. Так, *Navicula capitatoradiata* H. Germain ex Gasse і *Craticula cuspidata* належать до α-мезосапробіонтів, *Gomphonema parvulum* — до α-мезо-ρ-сапробіонтів, а *Nitzschia palea* — до

p-сапробіонтів. По відношенню до рН *Gomphonema parvulum* і *Nitzschia palea* є індиферентними організмами, а *Navicula capitatoradiata* і *Craticula cuspidata* — алкаліфілами. Серед індикаторів солоності води знайдені лише індиферентні організми. Серед показників трофічного рівня водойм переважали представники евтрофних вод. В той же час звертає на себе увагу, що *Nitzschia palea* є представником гіперевтрофних вод. По відношенню до типу живлення та кількості азотовмісних органічних сполук у воді *Navicula capitatoradiata* і *Craticula cuspidata* належать до автотрофів, які витримують підвищені концентрації азотовмісних органічних сполук у воді. *Gomphonema parvulum* належить до факультативно гетеротрофних організмів, яким необхідне періодичне підвищення концентрації азотовмісних органічних сполук у воді, а *Nitzschia palea* — до облігатних гетеротрофів, яким необхідні постійно підвищені концентрації азотовмісних органічних сполук у воді.

Діагностичні таксони: *Gomphonema parvulum*, *Navicula capitatoradiata*, *Craticula cuspidata* і *Nitzschia palea*.

Номенклатурний тип: опис 1, табл. 3, Горіховатський ставок № 1, в обростанні сусака зонтичного *Butomus umbellatus*.

Асоціація *Cocconeo placentulae-Naviculetum viridulae* ass. nova (описи 16—30, табл. 5).

Екологічні умови. Угрупування водоростей епіфітону, які належать до даної асоціації, знайдені у трьох Горіховатських ставках № 2, 3 і 4. У цих водоймах концентрація сполук неорганічного азоту, органічних речовин, нафтопродуктів, аніонних синтетичних поверхнево-активних речовин і деяких важких металів порівняно зі ставком № 1 були нижчими. Так, середня концентрація амонійного азоту у цих водоймах становила 0,111 мг N/дм³, нітритів — 0,005 мг N/дм³, нітратів — 0,022 мг N/дм³, а загального неорганічного азоту — 0,139 мг N/дм³. Концентрація органічних речовин також була нижчою у порівнянні з першим ставком каскаду (значення ПО в середньому становили 8,87 мг O/дм³, а значення БО — 48,4 мг O/дм³). У другому, третьому і четвертому ставках середня концентрація нафтопродуктів становила 0,061 мг/дм³, СПАР — 0,085 мг/дм³, Си — 43,6 мкг/дм³, Zn — 53,3 мкг/дм³ і Fe — 55,3 мкг/дм³ — тобто була нижчою порівняно з першим ставком [5]. Що ж стосується сполук неорганічного фосфору (0,160 мг/дм³), хлоридів (167,7 мг/дм³) та сульфатів (59,7 мг/дм³), то їхня середня концентрація у воді ставків № 2, 3 і 4 навпаки була значно вищою, ніж у ставку № 1.

Структура угруповань. Видове багатство угруповань водоростей, які відносяться до даної асоціації, вище. Знайдено 72 види водоростей, представлених 74 внутрішньовидовими таксонами (включаючи ті, що містять номенклатурний тип виду) з п'яти відділів. Найбільш різноманітні Bacillariophyta — 41 видів (56,9 % загальної кількості видів) і Chlorophyta — 22 види (30,5 %). Внесок Euglenophyta (4 види), Charophyta (3 види) та Cyanoprokaryota (2 види) був значно нижчим і в сумі становив 12,6 %. Середня кількість видів в окремих угрупованнях невисока — 22.

Таблиця 5

Асоціація *Socoseo placentulae-Naviculetum viridulae* ass. nova

Кількість видів	21	18	20	23	26	21	30	23	22	18	22	24	19	20	23	Const
	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
Номер описів																
Діагностичні таксони союзу <i>Symbello tumidae-Symbellion cistulae</i>																
<i>Symbella tumida</i> (Bréb.) Van Heurck	3	2	2	3	4	5	2	5	5	4	4	2	3	5	4	V ⁵
<i>Symbella cistula</i> (A. Hempel in A. Hempel et Ehrenb.) Kirchn.		2	2	5	2		4	5	3	4	4	5		4	5	IV ⁵
<i>Gomphonema truncatum</i> Ehrenb.	2	3		2	4	5	3	3	2	2			4		5	IV ⁵
<i>Synedra ulna</i> (Nitzsch) Ehrenb.	2		3	4	3	5		4	2		3	5		4	3	IV ⁵
<i>Encyonema caespitosum</i> Kütz.		2		4	3	4	5		3	2	2	4	5		4	IV ⁵
<i>Gomphonema gracile</i> Ehrenb.	2		3		5	3		4	2	2		4		5		III ⁵
<i>Planothidium lanceolata</i> (Bréb. in Kütz.) Round et Bukht.	2	2		4			5		3		5	2		3	2	III ⁵
<i>Gomphonema augur</i> Ehrenb.	2		3		2			2			2		2	2		III ³
Діагностичні таксони асоціації <i>Socoseo placentulae-Naviculetum viridulae</i>																
<i>Socoseis placentula</i> Ehrenb.	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	V ⁵
<i>Navicula viridula</i> (Kütz.) Ehrenb.		2	2	2	2	2		2	2			2			2	III ²
<i>Melosira varians</i> C. Agardh	2		3	5	5		4		3	3	2		4		5	IV ⁵
<i>Closterium lieblenii</i> (Kütz.) ex Ralfs	2	2			3		2	2		3	3		2	2	2	IV ³
<i>Synedra acus</i> Kütz.		2	2		2	3		2	2	2		2		2		III ³

Продовження табл. 5

Кількість видів	21	18	20	23	26	21	30	23	22	24	18	22	22	24	19	20	23	Const
Номер описів	16	17	18	19	20	21	22	23	24	27	25	26	26	27	28	29	30	
Інші таксони																		
<i>Euglena acus</i> Ehrenb.	2		2	2	2	2	2											ІІ ²
<i>Stenophora pulchella</i> (Ralfs) Wille et Round		2			2				2					2				ІІ ²
<i>Rhoicosphenia abbreviata</i> (C. Agardh) Lange-Bert.			2				2					2			2			ІІ ²
<i>Gomphonema parvulum</i> Kütz.					2			2			2							ІІ ²
<i>Navicula capitatoradiata</i> H. Germain ex Gasse			2			2			2					2			2	ІІ ²
<i>Navicula cryptosephala</i> Ehrenb.	2						2				2					2		ІІ ²
<i>Navicula veneta</i> Kütz.		2	2			2		2							2			ІІ ²
<i>Amphora ovalis</i> Kütz.							2					2					2	ІІ ²
<i>Amphora pediculus</i> (Kütz.) Grunow	2		2			2							2		2			ІІ ²
<i>Pediastrum duplex</i> Meyen					5		2					2		2				ІІ ²
<i>Pediastrum tetras</i> (Ehrenb.) Ralfs	2	2	2			2											2	ІІ ²
<i>Acutodesmus pectinatus</i> (Meyen) P. Tsarenko		2			2			2						2	2	2		ІІ ²
<i>Desmodesmus communis</i> (E. Hegew.) E. Hegew.			2		2		2				2				2			ІІ ²

Продовження табл. 5

Кількість видів	Номер описів	21	18	20	23	26	21	30	23	22	18	22	24	19	20	23	Const
		16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
<i>Desmodesmus opoliensis</i> (P.G. Richt.) E. Hegew.			2	2				2					2		2		Π ²
<i>Crucigeniella ariculata</i> (Lemmerm.) Kom.	2				2		2		2			2	2				Π ²
<i>Cosmarium granatum</i> Bréb.	2	2		2		2		2				2	2				Π ²

Локалізація описів: Горіховатський ставок № 2 (16—20), Горіховатський ставок № 3 (21—25), Горіховатський ставок № 4 (26—30): 1, 2 — 08.2019, 3 — 08.2021, 4, 5 — 08.2022, 6, 7 — 08.2019, 8, 9 — 08.2021, 10 — 08.2022, 11, 12 — 08.2019, 13 — 08.2021, 14, 15 — 08.2022. Сусак зонтичний *Vitotinus umbellatus* — (17, 25), лепешняк великий *Glyceteria maxima* — (19), рогоз вузьколистий *Typha angustifolia* — (16, 18, 20, 22, 24, 26, 28, 30), рогоз широколистий *Typha latifolia* — (21), очерет звичайний *Phragmites australis* — (23, 27), комиш озерний *Scirpus lacustris* — (29).

Кількісні показники розвитку епіфітних водоростей даної асоціації на повітряно-водних рослинах Горіховатських ставків № 2, 3, і 4 вище порівняно із першим ставком: середні значення чисельності і біомаси становили відповідно 0,889 млн. кл/г і 1,29 мг/г повітряно-сухої маси рослини-субстрату. За чисельністю найчастіше переважали діатомові водорості, їхній внесок у загальну чисельність фітоепіфітону в середньому становив 89,3 %. Зелені водорості домінували лише зрідка, їхня частка в загальній чисельності в середньому становила 73,2 %. За біомасою переважали діатомові водорості (95,8 %).

До складу домінантів входили *Cocconeis placentula* Ehrenb. і *Melosira varians* C. Agardh.

Екологічні характеристики діагностичних таксонів. Усі діагностичні види даної асоціації є індикаторами умов навколишнього середовища (див. табл. 4). За приуроченістю до місцезростання вони належать як до бентосних (60 %), так і до планктонно-бентосних організмів (40 %). Ці види також є індикаторами забруднення води органічними речовинами. Так, *Cocconeis placentula* і *Synedra acus* Kütz. належать до β-мезосапробіонтів, а *Navicula viridula* (Kütz.) Ehrenb., *Closterium lieblenii* (Kütz.) ex Ralfs і *Melosira varians* — до α-мезосапробіонтів. По відношенню до рН більшість діагностичних видів даної асоціації є алкаліфілами. *Synedra acus* належить до алкалібіонтів, а *Closterium lieblenii* — індіферентний організм. Серед індикаторів солоності води

знайдені як галофіли (67 %), так і індіферентні організми (33 %). Серед показників трофічного рівня водойм знайдені лише представники евтрофних вод. По відношенню до типу живлення та кількості азотовмісних органічних сполук у воді *Cocconeis placentula* і *Navicula viridula* належать до автотрофів, які витримують підвищені концентрації азотовмісних органічних сполук у воді, а *Melosira varians* належить до факультативно гетеротрофних організмів, яким необхідне періодичне підвищення концентрації азотовмісних органічних сполук у воді.

Діагностичні таксони: Cocconeis placentula, Navicula viridula, Melosira varians, Closterium lieblenii, Synedra acus.

Номенклатурний тип: опис 20, табл. 5, Горіховатський ставок № 2, в обростанні Typha angustifolia.

Обговорення результатів досліджень

В результаті проведеного порівняльного аналізу встановлено, що перша водойма у каскаді Горіховатських ставків характеризувалась значно вищим ступенем комплексного антропогенного забруднення (неорганічними сполуками азоту та органічними речовинами) порівняно з іншими ставками каскаду. Так, концентрація амонійного азоту у першому ставку в середньому була вищою у 2,6 рази, нітритів — у 2,4, нітратів — у 2,3, а загального неорганічного азоту — у 2,5 рази. Концентрація органічних речовин також була вищою: значення ПО в середньому були вищими у 1,2 рази і значення БО — у 1,2 рази (див. табл. 1).

Судячи з літературних даних [5], у цій водоймі зареєстрована і найвища для каскаду концентрація нафтопродуктів, аніонних синтетичних поверхнево-активних речовин та деяких важких металів. У першому ставку концентрація нафтопродуктів в середньому становила 0,124 мг/дм³. У решті водойм Горіховатського каскаду рівень нафтового забруднення був вдвічі меншим і знаходився у межах 0,058—0,064 мг/дм³. Максимальну концентрацію СПАР (0,121 мг/дм³) також зареєстровано у ставку № 1. У нижче розташованих ставках їхня концентрація була в 1,4 рази нижчою. У першому ставку зареєстровано і найвищу концентрацію таких важких металів як мідь (65,1 мкг/дм³), цинк (73,0 мкг/дм³) і залізо (91,0 мкг/дм³). У ставках № 2, 3 і 4 концентрація міді була нижчою у 1,5 рази, цинку — у 1,4 рази і заліза — у 1,6 рази.

Автори [5] наголошують на досить нетиповому характері розподілу забруднення каскаду Горіховатських ставків, оскільки його найвища концентрація була виявлена у водоймі, розташованій найвище за течією, у глибині лісопарку, де відсутні явні потенційні джерела надходження забруднюючих речовин. Такий розподіл забруднення у ставках цього каскаду пояснюють наявністю антропогенних джерел надходження політантів у верхів'ї річки Горіховатки. Відомо, що у місці витоку до неї потрапляють води з колектору зливової каналізації, який починається біля Виставкового центру [3], що, ймовірно, зумовлює їх високу концентрацію у верхів'ї каскаду з подальшим зниженням у решті Горіховатських ставків. Слід також зазначити, що забруднюючі речовини надходять у

ставок № 1 постійно (незалежно від наявності опадів), про що свідчать проведені нами дослідження.

В той же час середня концентрація неорганічного фосфору ($0,160 \text{ мг/дм}^3$), хлоридів ($167,7 \text{ мг/дм}^3$) і сульфатів ($59,7 \text{ мг/дм}^3$) була помітно вищою у ставках № 2, 3 і 4. При цьому середня концентрація неорганічного фосфору була у 3,3 раза, хлоридів — у 1,6 раза і сульфатів — у 1,7 раза вищою порівняно із ставком 1. Цей факт свідчить про наявність інших джерел забруднення, розташованих у самій парковій зоні.

Відповідно і типи угруповань водоростей епіфітону (синтаксони), виділені у водоймах із різним ступенем забруднення, значно відрізнялися між собою за складом та екологічними характеристиками діагностичних таксонів (див. табл. 2, 3, 4, 5). Характерною особливістю асоціації *Gomphonemo parvuli-Naviculetum capitatoradiatae*, описаної у першій водоймі із високим ступенем забруднення, є те, що вона діагностувалася видами водоростей стійкими до забруднення, що підтверджується їхніми екологічними характеристиками. Так, діагностичні таксони асоціації *Gomphonemo parvuli-Naviculetum capitatoradiatae* є представниками евтрофних та гіперевтрофних вод. Відомо [15], що сприятливими для розвитку *Gomphonema parvulum* і *Nitzschia palea* є дуже високі ($s = 5$) концентрації біогенних елементів. Діагностичні таксони асоціації відносяться до α -мезосапробіонтів (50 %), α -мезо- ρ -сапробіонтів (25 %) та ρ -сапробіонтів (25 %), тобто до показників інтенсивного забруднення води органічними речовинами. По відношенню до типу живлення та кількості азотовмісних органічних сполук у воді серед діагностичних таксонів знайдені автотрофи, які витримують підвищені концентрації азотовмісних органічних сполук (50 %), факультативно гетеротрофні організми, яким необхідне періодичне підвищення концентрації азотовмісних органічних сполук (25 %), та облігатні гетеротрофи, яким необхідні постійно підвищені концентрації азотовмісних органічних сполук (25%).

Серед діагностичних таксонів асоціації *Cocconeo placentulae-Naviculetum viridulae* частка представників евтрофних вод становила 100 %. Серед них знайдені β -мезосапробіонти (40 %) — індикатори помірного забруднення води органічними речовинами та α -мезосапробіонти (60 %) — показники інтенсивного забруднення води органічними речовинами. По відношенню до типу живлення та кількості азотовмісних органічних сполук у воді найбільшою кількістю видів представлені автотрофи, які витримують підвищені концентрації азотовмісних органічних сполук (67 %). Знайдені також факультативно гетеротрофні організми, яким необхідне періодичне підвищення концентрації азотовмісних органічних сполук (33 %).

Слід підкреслити, що подібний до асоціації *Gomphonemo parvuli-Naviculetum capitatoradiatae* синтаксон — асоціацію *Gomphonemo parvuli-Nitzschietum paleae* було описано у ставку Русалка, розташованому у Державному дендрологічному парку «Олександрія» (Україна) з екстремально високим ступенем забруднення сполуками неорганічного азоту (в першу чергу, амонійного азоту). Спільними діагностичними таксонами

обох синтаксонів були *Gomphonema parvulum* і *Nitzschia palea* — стійкі до забруднення види водоростей [28]. В той же час діагностичні таксони другої асоціації *Cocconeo placentulae-Naviculetum viridulae* часто зустрічаються в епіфітоні водосховищ Дніпра і озер Києва [25—27], тоді як діагностичні таксони першої асоціації *Gomphonema parvuli-Naviculetum capitatoradiatae* нетипові для епіфітону цих водойм.

Очевидно підвищені концентрації нафтопродуктів, СПАР і таких важких металів як мідь, цинк і залізо у першій водоймі у каскаді Горіховатських ставків, які становлять потенційну загрозу для нормальної життєдіяльності гідробіонтів, зокрема і водних рослин [5], призвело до зміщення чутливих до забруднення видів водоростей більш стійкими.

Позитивну достовірну залежність встановлено між частотою трапляння діагностичних таксонів першої асоціації *Gomphonema parvuli-Naviculetum capitatoradiatae* та загальною концентрацією неорганічних сполук азоту, нафтопродуктів і СПАР (значення коефіцієнта кореляції становили відповідно 0,75—0,85, 0,67—0,71 і 0,54—0,59 при $n = 12$, $p \leq 0,05$) і негативну достовірну залежність — між частотою трапляння діагностичних таксонів другої асоціації *Cocconeo placentulae-Naviculetum viridulae* та вище згаданими гідрохімічними показниками (значення коефіцієнта кореляції дорівнювали відповідно -0,77— -0,83, -0,66— -0,75 і -0,51— -0,59 при $n = 12$, $p \leq 0,05$). Помірну позитивну кореляцію встановлено між частотою трапляння діагностичних таксонів першої асоціації та концентрацією нетоксичних органічних речовин (значення коефіцієнта кореляції становили 0,34—0,39 при $n = 12$, $p \leq 0,05$) і помірну негативну кореляцію між цим показником і частотою трапляння діагностичних таксонів другої асоціації (значення коефіцієнта кореляції становили -0,30— -0,42 при $n = 12$, $p \leq 0,05$).

Виділені асоціації відрізнялися за видовим багатством водоростей епіфітону. Так, перша асоціація налічувала 48 видів, а друга у півтора рази більше — 72. Середня кількість видів в окремих угрупованнях першої асоціації становила 19, а в угрупованнях другої асоціації — 22. Зареєстровано відмінності і у видовому складі епіфітону — коефіцієнт флористичної подібності Серенсена становив 56%. Більш подібним був видовий склад діатомових (59%) і менш подібним — зелених водоростей (57%).

Угруповання водоростей епіфітону, що розвивалися у водоймах із різним ступенем забруднення, відрізнялися і за кількісними показниками розвитку водоростей. У сильно забрудненому першому ставку середні значення чисельності та біомаси епіфітону становили відповідно 0,573 млн. кл/г і 0,67 мг/г, а у помірно забруднених водоймах (ставках № 2, 3 і 4) — 0,889 млн. кл/г і 1,29 мг/г повітряно-сухої маси рослини-субстрату.

До складу домінуючого комплексу виділених асоціацій входили різні види водоростей. У першому більш забрудненому ставку домінували *Gomphonema parvulum*, *Craticula cuspidata* і *Nitzschia palea*, а у менш забруднених ставках № 2, 3 і 4 — *Cocconeis placentula* і *Melosira varians*. Зміни в складі домінуючого комплексу епіфітону як відповідь на забруднення спостерігали і в малих річках урбанізованих територій [6], а також в озері,

що зазнало забруднення нафтою [11]. При цьому на забруднених ділянках усіх досліджених водних об'єктів до складу домінантів входили види родів *Nitzschia* і *Gomphonema*. Зміни у видовому складі діатомових водоростей, включно з домінуючими видами роду *Nitzschia*, були зареєстровані як відповідь і на збільшення солоності води [14]. Присутність видів роду *Nitzschia* у сильно забруднених ставках пояснюється тим, що багато видів цього роду тяжіють до солонуватоводних та/або забруднених органічними речовинами водойм із високою концентрацією біогенних елементів [33].

Висновки

В результаті проведеного порівняльного аналізу встановлено, що перша водойма у каскаді Горіховатських ставків характеризувалась значно вищим ступенем комплексного антропогенного забруднення (неорганічними сполуками азоту та органічними речовинами) порівняно з іншими ставками каскаду. В цій водоймі зареєстрована і найвища для каскаду концентрація нафтопродуктів, аніонних синтетичних поверхнево-активних речовин та деяких важких металів. Значно відрізнялись між собою і типи угруповань водоростей епіфітону (синтаксони), виділені у водоймах із різним ступенем забруднення. Угрупування водоростей епіфітону, знайдені у першому ставку, належать до асоціації *Gomphonemo parvuli-Naviculetum capitatoradiatae*, а угруповання фітоепіфітону, зареєстровані у трьох інших ставках — до асоціації *Cocconeo placentulae-Naviculetum viridulae*.

Синтаксономія угруповань водоростей епіфітону, виділених у Горіховатських ставках НПП «Голосіївський», має наступний вигляд:

Союз *Symbello tumidae-Cymbellion cistulae* all. nova

Ас. *Gomphonemo parvuli-Naviculetum capitatoradiatae* as. nova

Ас. *Cocconeo placentulae-Naviculetum viridulae* as. nova

Угрупування водоростей епіфітону, що належать до виділених асоціацій, знайдені у водоймах з різним ступенем забруднення, відрізнялись між собою за складом та екологічними характеристиками діагностичних таксонів. Характерною особливістю асоціації, зареєстрованої у ставку з високим ступенем забруднення, є те, що вона діагностувалася видами стійкими до забруднення, що підтверджується їхніми екологічними характеристиками. Виділені асоціації відрізнялись за видовим багатством водоростей епіфітону, середньою кількістю видів в окремих угрупованнях та кількісними показниками розвитку водоростей.

Очевидно наявність підвищених концентрацій нафтопродуктів, СПАР і таких важких металів як мідь, цинк і залізо у першому ставку у каскаді Горіховатських ставків, які становлять потенційну загрозу для нормальної життєдіяльності гідробіонтів і можуть бути токсичними для водних організмів, і призвело до заміщення чутливих до забруднення видів водоростей більш стійкими.

Встановлено, що довготривале забруднення водойм призводить до суттєвої трансформації структури угруповань водоростей епіфітону, які

розвиваються на вищих водних рослинах, в результаті якого чутливі до забруднення види, заміщуються більш стійкими організмами. Формування угруповань фітоепіфітону, в яких з високою частотою зустрічаються такі види як *Gomphonema parvulum* і *Nitzschia palea* (нетипові для епіфітону і стійкі до забруднення), і значне зниження частоти трапляння найбільш розповсюджених видів таких як *Cocconeis placentula* (часто зустрічаються і домінують в епіфітоні звичайних водойм і чутливі до забруднення) може свідчити про довготривале (хронічне) забруднення водойм. Отримані результати можуть бути використані для синбіоіндикації стану водойм з різним ступенем забруднення та при проведенні екологічного моніторингу.

Список використаної літератури

1. Батог С.В., Іванова Н.О. Еколого-гідрологічна характеристика каскаду ставків на річці Горіхуватка в місті Києві // Сучасна гідроекологія: місце наукових досліджень у вирішенні актуальних проблем : матеріали VI наук.-практ. конф. молодих вчених (10—11 жовт. 2023 р. м. Київ). Київ, 2023. С. 18—22.
2. Барінова С.С., Медведева Л.А., Анисимова О.В. Биоразнообразие водорослей-индикаторов окружающей среды. Тель-Авив: Pilies Studio, 2006. 498 с.
3. Вишневський В.І. Малі річки Києва. Київ: Інтерпрес ЛТД, 2013. 84 с.
4. Водоросли. Справочник. Київ: Наук. думка, 1989. 608 с.
5. Горбатюк Л.О., Пасічна О.О., Клоченко П.Д. та ін. Вміст забруднювальних речовин та їх потенційна токсичність у водоймах Національного природного парку «Голосіївський» (Україна). *Гідробіол. журн.* 2024. Т. 60, № 6. С. 71—85.
6. Комулайнен С.Ф. Структура фитоперифитона малых рек урбанизированных территорий Карелии и Кольского полуострова // Перифитон и обрастание: теория и практика : тез. докл. Междунар. научно-практ. конф. (23—27 окт. 2008 г. Санкт-Петербург). Санкт-Петербург, 2008. С. 47—49.
7. Методи гідроекологічних досліджень поверхневих вод / За ред. В.Д. Романенка. НАН України. Ін-т гідробіології. Київ: Логос, 2006. 408 с.
8. Миркин Б.М., Наумова Л.Г., Соломещ А.И. Современная наука о растительности: Учебник. Москва : Логос, 2001. 264 с.
9. Миркин Б.М., Розенберг Г.С., Наумова Л.Г. Словарь понятий и терминов современной фитоценологии. Москва: Наука, 1989. 223 с.
10. Руководство по химическому анализу поверхностных вод суши / Под ред. А.Д. Семенова. Ленинград: Гидрометеоиздат, 1977. 542 с.
11. Стенина А.С. Экологическая структура эпифитных диатомовых водорослей как индикатор нефтяного загрязнения озер тундры бассейна реки Печора: Перифитон континентальных вод: современное состояние изученности и перспективы дальнейших исследований: Междунар. симпозиум. Тюмень, 2003. С. 106—107.
12. Топачевский А.В., Масюк Н.П. Пресноводные водоросли Украинской ССР: учебное пособие. Киев: Вища шк., 1984. 334 с.
13. Bešta T., Mareš J., Čapková K. et al. Littoral periphyton dynamics in newly established post-mining lakes. *Aquatic Sciences*. 2023. Vol. 85, Iss. 1. 21 p.
14. Eloranta P., Soininen J. Ecological status of some Finnish rivers evaluated using benthic diatom communities. *J. Appl. Phycol.* 2002. Vol. 14, N 1. P. 1—7.
15. Kelly M.G., Adams C., Graves A.C. et al. The Trophic Diatom Index: User's Manual. Revised edition. Environment Agency Technical Report E2/TR2. 2001. 135 p.
16. Klochenko P.D., Shevchenko T.F. Distribution of epiphytic algae on macrophytes of various ecological groups (the case study of water bodies in the Dnieper River basin). *Oceanol. Hydrobiol. St.* 2017. Vol. 46, Iss. 3. P. 283—293.

17. Klochenko P.D., Shevchenko T.F. Epiphyton as bioindicator of the state of the upper-cascade Dnieper reservoirs. *Hydrobiol. J.* 2019. Vol. 55, N 4. P. 26—37.
18. Klochenko P.D., Shevchenko T.F., Gorbunova Z.N. Phytoepiphyton as indicator of the state of water bodies of the «Golosiyivsky» National Nature Park (Ukraine). *Ibid.* 2022. Vol. 58, N 4. P. 30—41.
19. Klochenko P.D., Shevchenko T.F., Kharchenko G.V. Epiphyton algae of the water bodies of the Golosiyivsky National Nature Park (Ukraine). *Ibid.* 2022. Vol. 58, N 3. P. 15—28.
20. Mucina L., H. Bültmann K. Dierben et al. Vegetation of Europe: hierarchical floristic classification system of vascular plant, bryophyte, lichen, and algal communities. *Applied Vegetation Science*. 2016. Vol. 19, Suppl. 1. P. 3—264.
21. Oksiyuk O.P., Davydov O.A. Sanitary hydrobiology in present. Main provisions, methodology tasks. *Hydrobiol. J.* 2013. Vol. 49, N 2. P. 45—56.
22. Oksiyuk O.P., Davydov O.A., Karpezo Yu.I. Microphytobenthos as bioindicator of the state of aquatic ecosystems. *Ibid.* 2011. Vol. 47, N 1. P. 72—85.
23. Shevchenko T.F. Cenological analysis of phytoepiphyton of green filamentous algae of the Reservoirs of the Dnieper Cascade. *Ibid.* 2011. Vol. 47, N 6. P. 3—14.
24. Shevchenko T.F. Thermophilous communities of periphyton algae in the cooling ponds of thermal and nuclear power stations of Ukraine. *Ibid.* 2012. Vol. 48, N 5. P. 31—45.
25. Shevchenko T.F., Kharchenko G. V., Klochenko P.D. Cenological analysis of phytoepiphyton of water bodies of Kiev. 2010. Vol. 46, N 1. P. 41—55.
26. Shevchenko T.F., Klochenko P.D., Batog S.V. Cenological analysis of phytoepiphyton of the cascade plain Kanev Reservoir (Ukraine). *Ibid.* 2020. Vol. 56, N 6. P. 42—61.
27. 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.
28. Shevchenko T.F., Klochenko P.D., Kharchenko G.V., Gorbunova Z.N. Structure of the communities of epiphyton algae in the water bodies differing in the level of contamination. *Ibid.* 2023. Vol. 59, N 5. P. 41—63.
29. 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.
30. Tsarenko P.M., Wasser S.P., Nevo E. Algae of Ukraine: diversity, nomenclature, taxonomy, ecology and geography. Bacillariophyta. (Vol. 2). Ruggell: Gantner Verlag, 2009. 413 p.
31. Tsarenko P.M., Wasser S.P., Nevo E. Algae of Ukraine: diversity, nomenclature, taxonomy, ecology and geography. Chlorophyta. (Vol. 3). Ruggell: Gantner Verlag, 2011. 511 p.
32. Tsarenko P.M., Wasser S.P., Nevo E. Algae of Ukraine: diversity, nomenclature, taxonomy, ecology and geography. Charophyta. (Vol. 4). Ruggell: Gantner Verlag, 2014. 703 p.
33. Van Dam H., Mertens A., Sinkeldam J. A coded checklist and ecological indicator values of freshwater diatoms from the Netherlands. *Neth. J. Aquat. Ecol.* 1994. Vol. 28. P. 117—133.
34. Weber H.E., Moravec J.G., Theurillat J.-P. International code of phytosociological nomenclature. 3-d edition. *Journal of Vegetation Science*. 2000. Vol. 11. P. 739—768.

Надійшла 19.01.2025

T.F. Shevchenko, PhD (Biol.), Senior researcher, Senior researcher,
Institute of Hydrobiology of the NAS of Ukraine,
Volodymyr Ivasyuk Avenue, 12, Kyiv, 04210, Ukraine
e-mail: tf_shevchenko@ukr.net
ORCID 0000-0002-6436-4968

P.D. Klochenko, Doctor of Biology, Prof., Head of Department,
Institute of Hydrobiology of the NAS of Ukraine,
Volodymyr Ivasyuk Avenue, 12, Kyiv, 04210, Ukraine
e-mail: pklochenko@ukr.net
ORCID 0000-0003-4886-6746

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

EPIPHYTON ALGAE COMMUNITIES UNDER CONDITIONS OF COMPLEX ANTHROPOGENIC POLLUTION OF WATER BODIES

The structure of the communities of epiphyton algae was studied in the Gorikhovatka ponds of the «Golosiivsky» National Nature Park differing in the level of anthropogenic contamination. As a result of the analysis of original and literature data it has been found that the first water body in the cascade of the Gorikhovatka ponds was characterized by essentially higher level of complex anthropogenic contamination by inorganic compounds of nitrogen, organic matter, petroleum products, anionic synthetic surfactants, and some heavy metals compared to other ponds of the cascade. The types of algal communities (syn-taxa) described in water bodies differing in the level of contamination also significantly differed. The algal communities found in the first pond belong to the association *Gomphonema parvuli-Naviculetum capitatoradiatae*, while phytoepiphyton communities registered in three other ponds — to the association *Cocconeis placentulae-Naviculetum viridulae*. It has been found that long-term contamination of water bodies results in significant transformations of the structure of epiphyton algae communities occurring on higher aquatic plants. As a consequence, algal species sensitive to contamination gave way to more resistant organisms. The formation of algal communities, in which *Gomphonema parvulum* Kütz. and *Nitzschia palea* (Kütz.) W. Sm. (atypical to epiphyton and resistant to contamination) frequently occur, and a decrease of the frequency of occurrence of the most distributed species such as *Cocconeis placentula* Ehrenb., which frequently occurs and dominates in many water bodies with a low level of contamination and sensitive to pollution, can be indicative of long-term (chronic) contamination of water bodies. The obtained results can be used for synbioindication of the state of water bodies differing in the level of contamination, and also in performing ecological monitoring.

Keywords: *epiphyton algae, communities, the Braun-Blanquet method, chemical composition of the water, complex anthropogenic contamination, Gorikhovatka ponds, the «Golosiivsky» National Nature Park.*