

УДК [574.64+581.1]:581.526.3:546.3

**О.О. ПАСІЧНА**, к. б. н., ст. наук. співроб.,  
Інститут гідробіології НАН України,  
просп. Героїв Сталінграда, 12, Київ, 04210, Україна,  
e-mail: ecorasichna@gmail.com

**Л.О. ГОРБАТЮК**, к. т. н., ст. наук. співроб.,  
Інститут гідробіології НАН України,  
просп. Героїв Сталінграда, 12, Київ, 04210, Україна

**М.О. ПЛАТОНОВ**, к. б. н., наук. співроб.,  
Інститут гідробіології НАН України,  
просп. Героїв Сталінграда, 12, Київ, 04210, Україна

**С.П. БУРМІСТРЕНКО**, пров. інж.,  
Інститут гідробіології НАН України,  
просп. Героїв Сталінграда, 12, Київ, 04210, Україна

**О.О. ГОДЛЕВСЬКА**, к. фіз.-мат. н., доцент,  
Національний університет біоресурсів і природокористування України,  
вул. Героїв Оборони, 15, Київ, 03041, Україна,  
e-mail: godlevok@gmail.com

**Т.В. ВІТОВЕЦЬКА**, к. х. н., доцент,  
Київський національний університет будівництва і архітектури,  
просп. Повітрофлотський, 31, Київ, 03680, Україна,  
e-mail: vitovetskaya@ukr.net

## **ОСОБЛИВОСТІ НАКОПИЧЕННЯ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ ВОДНИМИ МАКРОФІТАМИ ОЗЕР М. КИЄВА ТА ОЦІНКА ЇХНЬОЇ БІОРЕМЕДІАЦІЙНОЇ ЗДАТНОСТІ**

Проведено визначення концентрацій важких металів (Fe, Cu, Zn, Co) у воді озер, розташованих на території м. Києва, та рівнів їхнього накопичення у занурених вищих водних рослинах *Ceratophyllum demersum* L., *Myriophyllum spicatum* L. і *Potamogeton perfoliatus* L. Розглянуто можливість використання зазначених видів для біомоніторингу забруднення водойм урбанізованих територій важкими металами. Встановлено, що найбільш забрудненими досліджуваними польотантами є озера Мінське, Лугове, Богатирське, Кирилівське та Йорданське (система озер Опечень). Отримано високі значення коефіцієнтів біологічного накопичення Fe, Cu, Zn, Co у досліджуваних видах занурених макрофітів. Рекомендовано використання *C. demersum*, *M. spicatum* і *P. perfoliatus* для фітореємедіації та відновлення екологічного стану водойм, забруднених важкими металами.

**Ключові слова:** важкі метали, водні макрофіти, озера, Київ, біомоніторинг, фітореємедіація.

---

Ц и т у в а н н я: Пасічна О.О., Горбатюк Л.О., Платонов М.О., Бурмістрєнко С.П., Годлевська О.О., Вітовецька Т.В. Особливості накопичення важких металів водними макрофітами озер м. Києва та оцінка їхньої біореємедіаційної здатності. *Гідробіол. журн.* 2021. Т. 57. № 2. С. 70—81.

Забруднення водойм урбанізованих територій, зокрема м. Києва, важкими металами зумовлено, головним чином, антропогенним впливом, значною мірою внаслідок потрапляння в них промислових та комунально-побутових стічних вод. Інтенсивна міська забудова, велика кількість транспортних засобів та станцій технічного обслуговування, мережа автозаправок і залізниць також призводять до збільшення концентрації важких металів у природних водах.

Внаслідок біоаккумуляції та токсичного впливу важких металів на гідробіонтів створюється загроза для їхнього безпечного існування та порушення природної екологічної рівноваги у водоймах [11]. Вирішенню цієї важливої екологічної проблеми сприяє використання водних макрофітів у системі біомоніторингу та фітореMediaції. На основі встановлених корелятивних зв'язків між концентрацією металів у воді, їхнім вмістом у донних відкладах та накопиченням у водних рослинах проведено відбір найбільш ефективних видів - моніторів стану водного середовища [8, 14, 21, 24]. У світовій практиці з метою біомоніторингу забруднення водойм важкими металами використовують такі види водних макрофітів, як *Ceratophyllum demersum* L., *Potamogeton pectinatus* L., *P. lucens* L., *P. perfoliatus* L., *Elodea canadensis* Michx., *Myriophyllum spicatum* L., *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms-Laub., *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud. і *Typha domingensis* (Pers.) Poir. ex Steud. [10, 13, 24, 25].

Вивчення закономірностей накопичення важких металів водними макрофітами та їхньої здатності до зв'язування і детоксикації металів дало можливість визначити потенціал і ефективність окремих видів при застосуванні для фітореMediaції та відновлення стану водного середовища [6, 11, 18, 26]. Зокрема, в результаті досліджень інтенсивності поглинання металів з води вищими водними рослинами показано, що для біореMediaції природних та стічних вод доцільно використовувати такі види, як *E. crassipes*, *C. demersum*, *Potamogeton crispus* L., *T. domingensis*, *Ph. australis*, *Pistia stratiotes* L., *Salvinia auriculata* Aubl., *Lemna minor* L., *Salvinia natans* (L.) All., *E. canadensis* та *P. pectinatus* [6, 9—12]. Доведено, що широке використання водних макрофітів для фітореMediaції водойм забезпечується такими характеристиками, як здатність накопичувати і вилучати з води значну кількість металів, стійкість до токсичної дії зазначених поллютантів та інтенсивний приріст біомаси [11, 22]. Зокрема, в цих роботах показано, що таким вимогам відповідає *E. crassipes*, яка може відігравати значну роль при очистці води. Підтверджено можливість використання *Salvinia minima* Baker для додаткової очистки стічних вод від важких металів (Cd, Ni, Pb і Zn) [15], а також *Ipomoea aquatica* Forsk. для видалення Pb з рідких стоків [7]. Рекомендовано застосування низки видів водних макрофітів, зокрема *S. natans*, *E. crassipes*, *L. minor*, *E. canadensis* та *P. stratiotes* для очистки стічних вод від Cu, Zn, Cd і Pb [6, 9, 22]. Це пов'язано з їхньою здатністю накопичувати значну кількість металів з поліметалевих систем.

Метою роботи було з'ясування особливостей накопичення важких металів зануреними вищими водними рослинами озер м. Києва та оцінка їхньої біоремедіаційної здатності.

### Матеріал і методика досліджень

Об'єктами досліджень були занурені вищі водні рослини *Ceratophyllum demersum* L., *Myriophyllum spicatum* L., *Potamogeton perfoliatus* L. — евривалентні види, здатні витримувати забруднення води [2]. Це типові види водних рослин у водоймах міста (подекуди єдині масові в зоні заростей), найбільш численними є і їхні угруповання.

Відбір рослинного матеріалу і проб води проводили у 2019 р. з 14 озер м. Києва, які відрізняються між собою за походженням, морфометричними характеристиками та ступенем антропогенного впливу. Дослідження проводили на правобережних (Мінське, Лугове, Богатирське, Кирилівське, Йорданське, Редьчине, Вербне, Центральне, Сине) та лівобережних (Алмазне, Тельбін, Лебедине, Вирлиця, Тягле) озерах.

Проби води для визначення вмісту металів (купруму, феруму, цинку, кобальту) відбирали весною (до початку вегетації водних макрофітів) та влітку. Для визначення розчиненої форми металів ( $\text{Cu}_{\text{розч}}$ ,  $\text{Fe}_{\text{розч}}$ ,  $\text{Zn}_{\text{розч}}$ ,  $\text{Co}_{\text{розч}}$ ) воду фільтрували через мембранні нітроцелюлозні фільтри *Fioroni* (КНР) з діаметром пор 0,45 мкм, потім підкисляли концентрованою азотною кислотою (з розрахунку 12 см<sup>3</sup> кислоти на 1 дм<sup>3</sup> води) і зберігали в пластикових емностях у холодильнику [3]. Визначення концентрації розчиненої форми металів у воді проводили методом оптичної емісійної спектроскопії з індуктивно-зв'язаною плазмою на оптичному емісійному спектрометрі *iCAP 6300 Duo* (США) [4].

Пагони досліджуваних вищих водних рослин висушували до повітряно-сухої маси в кімнатних умовах при температурі  $28 \pm 4$  °С без потрапляння прямих сонячних променів та з достатньою вентиляцією. Перед взяттям наважок рослинний матеріал досушували протягом 2 год при 60 °С у сушильній шафі та подрібнювали до порошкоподібного стану. Для кислотного озолення рослинного матеріалу (сумішшю концентрованих азотної і сірчаної кислот) використовували мікрохвильову (НВЧ) піч *MWS-2* (Berghoff, Германія). Визначення вмісту важких металів (Zn, Fe, Cu, Co) в озолому матеріалі проводили методом оптичної емісійної спектроскопії з індуктивно-зв'язаною плазмою [4].

Коефіцієнт біологічного накопичення металів (КБН) для водних макрофітів визначали як співвідношення: вміст металу в рослинному матеріалі (мг/кг сухої маси)/концентрація металу у воді (мг/дм<sup>3</sup>) [22, 23].

Статистичну обробку одержаних даних (розрахунок середнього значення та стандартного відхилення ( $M \pm m$ ) із 3—4 визначень ( $n = 3-4$ )) проводили за допомогою програми *MS Excel 2016*. При описі результатів досліджень використовували середні значення, результати статистичної обробки відображені на рисунках.

### Результати досліджень та їх обговорення

Біодоступність металів для гідробіонтів, в т. ч. і для водних рослин, визначається концентрацією їхньої розчиненої форми [20]. У зв'язку з цим було проведено визначення концентрації  $\text{Cu}_{\text{розч}}$ ,  $\text{Fe}_{\text{розч}}$ ,  $\text{Zn}_{\text{розч}}$ ,  $\text{Co}_{\text{розч}}$  у воді озер м. Києва та рівня накопичення цих металів у *S. demersum*, *M. spicatum* і *P. perfoliatus* з метою оцінки можливості використання зазначених видів водних макрофітів для моніторингу забруднення природних вод важкими металами. Встановлені концентрації розчиненої форми металів у воді досліджуваних водойм весною (до початку вегетації) і влітку відображено на рисунках 1 і 2.

У результаті проведених досліджень серед правобережних озер м. Києва найбільшу концентрацію  $\text{Cu}_{\text{розч}}$  виявлено у воді таких озер, як Мінське, Лугове, Богатирське, Кирилівське та Йорданське (система озер Опечень) (див. рис. 1, а). Весною концентрація  $\text{Cu}_{\text{розч}}$  у зазначених водоймах становила 10,9—23,4 мкг/дм<sup>3</sup>. Максимальна концентрація  $\text{Cu}_{\text{розч}}$  (23,4 мкг/дм<sup>3</sup>) виявлена в оз. Луговому. Влітку концентрація  $\text{Cu}_{\text{розч}}$  у воді вищезгаданих озер зменшувалась порівняно з весняним періодом і становила 6,8—11,4 мкг/дм<sup>3</sup>. В озерах Редьчиному, Вербному, Центральному та Синьому концентрація  $\text{Cu}_{\text{розч}}$  загалом була меншою і знаходилась в межах 2,1—7,7 мкг/дм<sup>3</sup> в обидва сезони.

Серед досліджуваних лівобережних озер найбільші концентрації  $\text{Cu}_{\text{розч}}$  виявлено у воді озер Алмазне і Вирлиця (13,3—14,0 мкг/дм<sup>3</sup>) навесні, а найменші — в озерах Тягле і Тельбін (2,6—4,2 мкг/дм<sup>3</sup>) влітку (див. рис. 1, а).

Концентрація  $\text{Co}_{\text{розч}}$  у воді досліджуваних озер знаходилась в межах 1,2—4,0 мкг/дм<sup>3</sup> навесні і 0,1—2,4 мкг/дм<sup>3</sup> — влітку (див. рис. 1, б). Максимальні концентрації  $\text{Co}_{\text{розч}}$  (2,9—4,0 мкг/дм<sup>3</sup>) виявлено навесні в озерах Мінському, Луговому, Богатирському та Кирилівському.

Максимальна концентрація  $\text{Fe}_{\text{розч}}$  (232 мкг/дм<sup>3</sup>) була зафіксована весною в оз. Кирилівському (див. рис. 2, а). Напевно, що метал потрапляє у воду цієї водойми як за рахунок водних мас р. Сирець, водозбір якої розташований у промисловій зоні, так і з поверхневим стоком. В межах водозбору озера розташований штрафмайданчик МАФів, які зазнають корозії, що також може бути однією з причин збільшення концентрації  $\text{Fe}_{\text{розч}}$  у воді. Влітку найбільшу концентрацію  $\text{Fe}_{\text{розч}}$  виявлено у воді озер Лугове і Богатирське — відповідно 120 і 175 мкг/дм<sup>3</sup>.

Серед правобережних озер у весняний період найвищі концентрації  $\text{Zn}_{\text{розч}}$  виявлено у воді озер Лугове, Богатирське, Кирилівське та Йорданське (52—79 мкг/дм<sup>3</sup>), влітку — в оз. Луговому (72 мкг/дм<sup>3</sup>) (див. рис. 2, б).

Серед лівобережних озер м. Києва найвищу концентрацію  $\text{Fe}_{\text{розч}}$  (168 мкг/дм<sup>3</sup>) і  $\text{Zn}_{\text{розч}}$  (60 мкг/дм<sup>3</sup>) виявлено навесні в оз. Вирлиця (див. рис. 2 а, б). Влітку концентрація  $\text{Fe}_{\text{розч}}$  і  $\text{Zn}_{\text{розч}}$  в досліджуваних озерах знаходилась в межах 40—91 і 13—36 мкг/дм<sup>3</sup> відповідно.

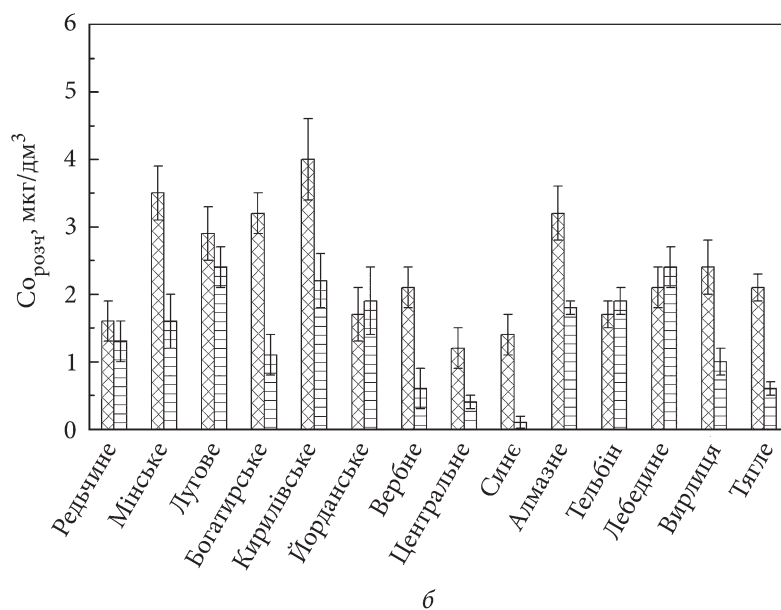
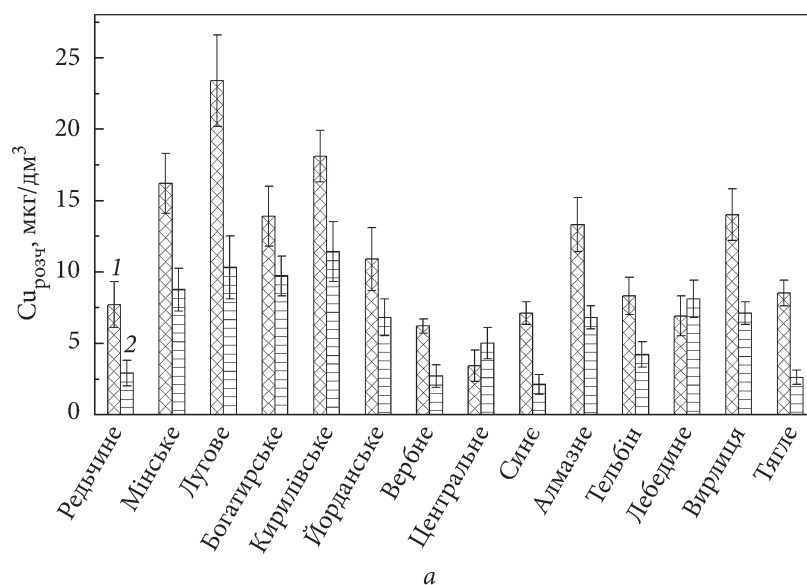


Рис. 1. Концентрація розчиненої форми купруму (а) і кобальту (б) у воді озер м. Києва. Тут і на рис. 2: 1 — весною; 2 — влітку ( $M \pm t$ ;  $n = 3-4$ )

В результаті проведених досліджень виявлено тенденцію до зниження вмісту розчиненої форми важких металів у воді влітку порівняно з весняним періодом. Це, напевно, пов'язано як з акумуляцією металів водними рослинами під час їхньої вегетації, так і зі зростанням адсорбції металів на поверхні завислих часток органічного (фітопланктон, детрит і т. д.) та мінерального походження [1, 20]. Збільшення вмісту у водному

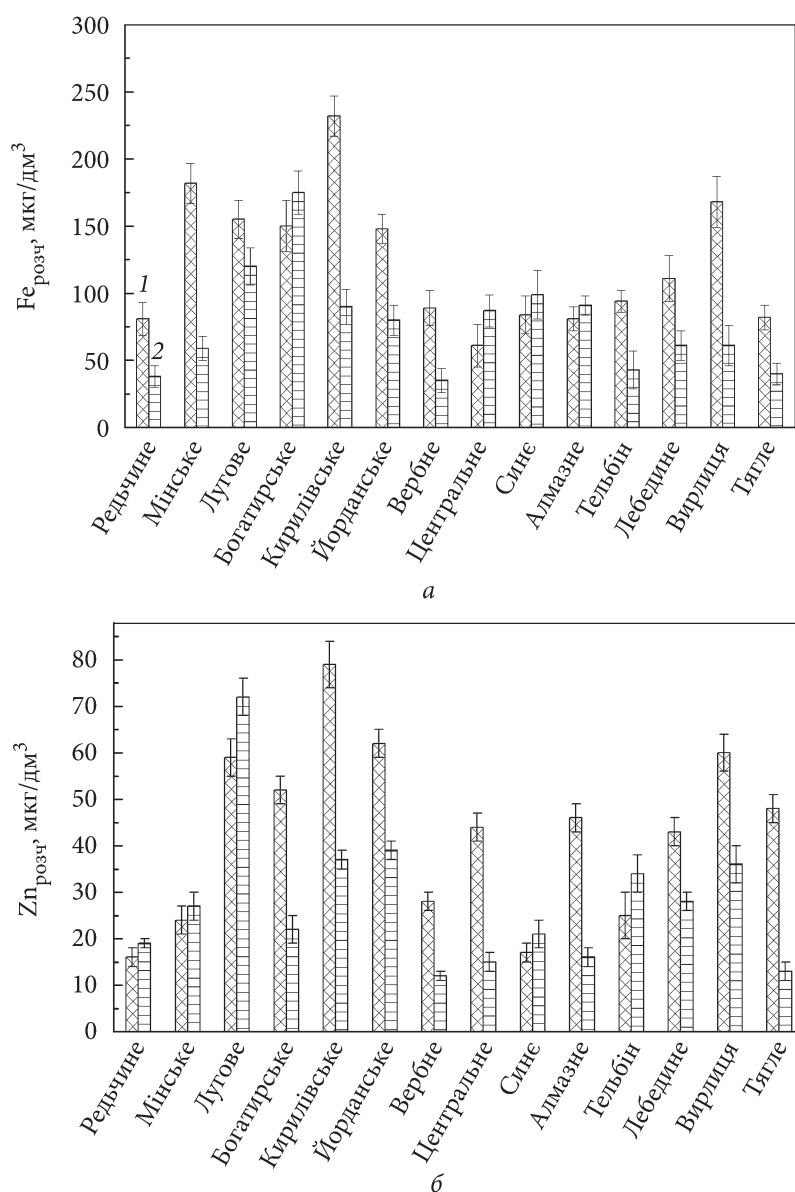
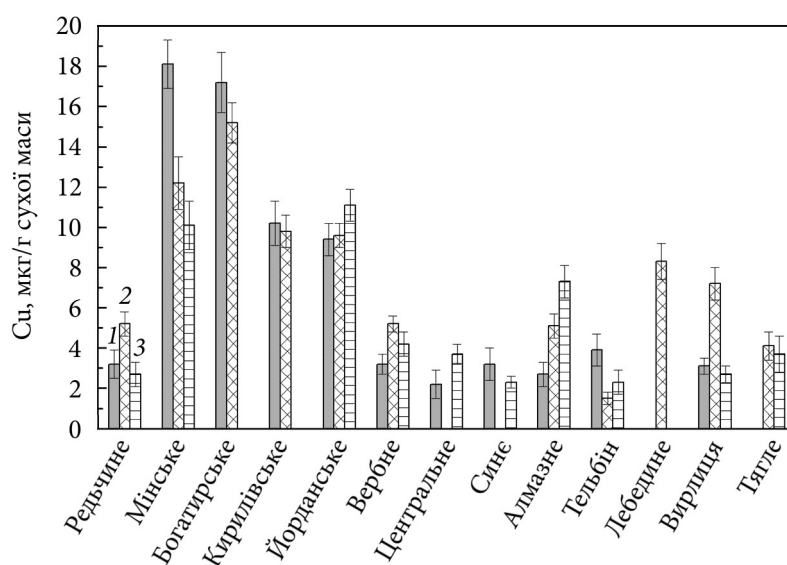


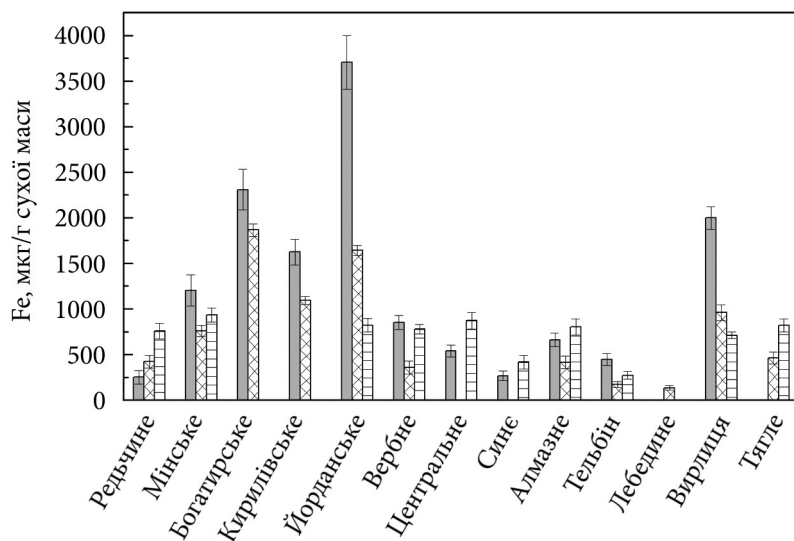
Рис. 2. Концентрація розчиненої форми феруму (а) і цинку (б) у воді озер м. Києва

середовищі органічних речовин (екзометаболітів фітопланктону та інших гідробіонтів) сприяє зв'язуванню важких металів у комплекси [19].

В результаті дослідження накопичення металів вищими водними рослинами озер м. Києва було виявлено, що найбільше купруму (9,4—18,1 мкг/г сухої маси) накопичували занурені макрофіти, зібрані з озер Мінське, Богатирське, Кирилівське та Йорданське (система озер Опечень) (рис. 3, а). Максимальний вміст купруму (18,1 мкг/г сухої маси) був



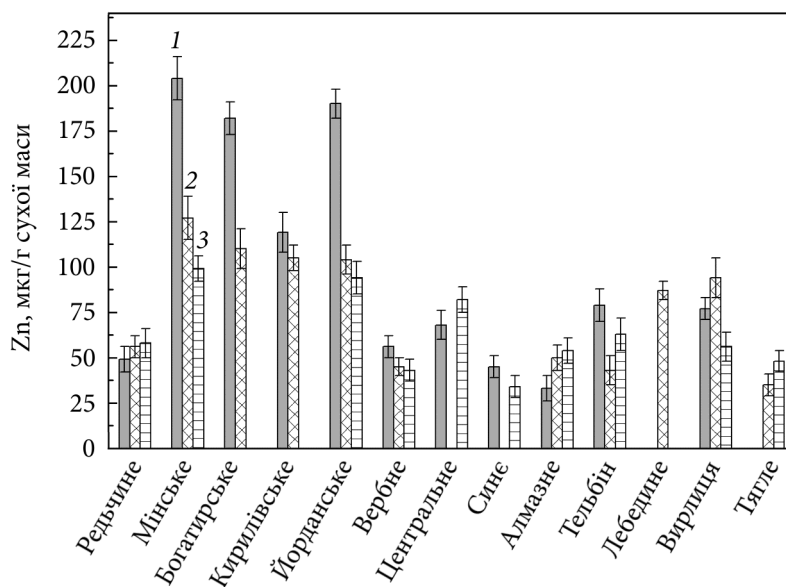
а



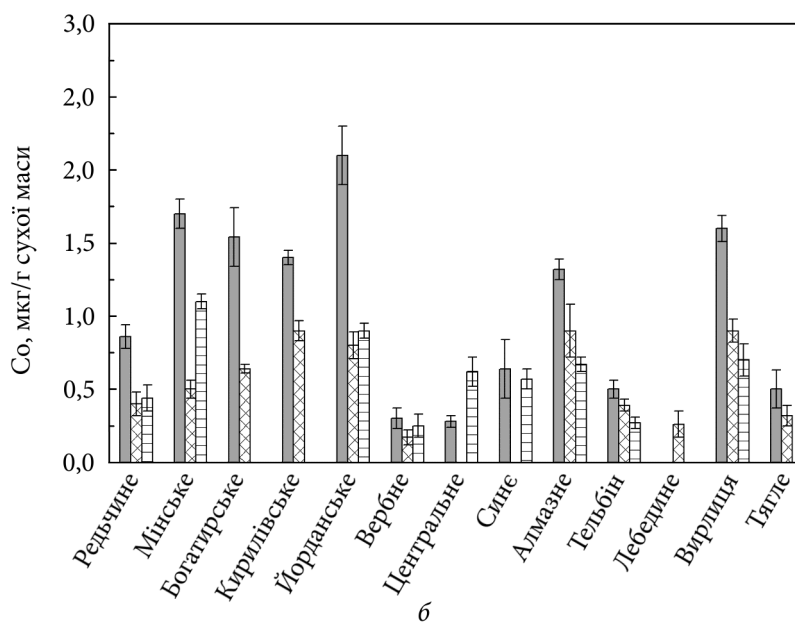
б

**Рис. 3.** Вміст Cu (а) і Fe (б) у занурених макрофітах озер м. Києва. Тут і на рис. 4: 1 — *Ceratophyllum demersum*; 2 — *Potamogeton perfoliatus*; 3 — *Myriophyllum spicatum* ( $M \pm m$ ;  $n = 3-4$ )

виявлений у *C. demersum*, зібраному з оз. Мінського, і *P. perfoliatus* (15,2 мкг/г сухої маси) — з оз. Богатирського. Слід зазначити, що в прибережній зоні оз. Лугового занурених макрофітів виявлено не було, очевидно, із-за значного забруднення води. Водночас у занурених вищих водних рослинах з озер Редьчине, Вербне, Центральне, Синє, Тельбін і Тягле на-



а



б

Рис. 4. Вміст Zn (а) і Co (б) у занурених макрофітах озер м. Києва

копичення купруму було в декілька разів меншим і становило 1,5—5,2 мкг/г сухої маси (див. рис. 3, а).

Найбільший вміст феруму виявлено у *S. demersum*, зібраному в озерах Опечень (1204—3705 мкг/г сухої маси), а також в оз. Вирлиця (1998 мкг/г сухої маси) (див. рис. 3, б). Меншу кількість феруму накопичу-



вали *P. perfoliatus* і *M. spicatum* з цих водойм (748—1865 мкг/г сухої маси). Вміст Fe у занурених макрофітах з інших досліджуваних правобережних озер (Редьчине, Вербне, Центральне, Синє) та розташованих на лівому березі м. Києва (Алмазне, Тельбін, Тягле, Лебедине) знаходився в межах 135—872 мкг/г сухої маси.

Найбільше цинку накопичував *C. demersum* (119—204 мкг/г сухої маси) і *P. perfoliatus* (104—127 мкг/г сухої маси) з озер Мінське, Богатирське, Кирилівське та Йорданське (рис. 4, а). Максимальне накопичення кобальту виявлено у *C. demersum*, зібраному в озерах, що входять до системи Опечень, а також Алмазне та Вирлиця (1,3—2,1 мкг/г сухої маси) (див. рис 4, б). У занурених макрофітах з інших озер м. Києва виявлено менший рівень накопичення цинку і кобальту (див. рис. 4, а, б), як і інших досліджуваних металів, що пов'язано, очевидно, з меншим ступенем забруднення води.

Таким чином, в результаті проведених досліджень встановлено, що рівень накопичення Fe, Zn, Cu, Co зануреними макрофітами *C. demersum*, *M. spicatum* і *P. perfoliatus* залежав від ступеня забруднення води цими металами, що підтверджує доцільність використання даних видів водних рослин в системі біомоніторингу. Оскільки акумуляція металів рослинними організмами відбувається протягом тривалого часу, то на основі проведеного біомоніторингу з використанням водних рослин можна зробити висновок про хронічний характер забруднення води, водночас як визначення концентрацій металів безпосередньо у воді хімічними методами свідчить про рівень її забруднення в конкретний момент часу.

Оцінка акумулятивної здатності макрофітів проводиться з використанням коефіцієнтів біологічного накопичення (КБН) металів [16, 22, 23]. Результати досліджень засвідчили, що КБН металів для водних макрофітів, зібраних з озер м. Києва, досягають високих значень, однак відрізняються залежно від морфологічних характеристик окремих видів та концентрації і рівня токсичності конкретного металу (таблиця).

Таблиця

Коефіцієнти біологічного накопичення металів для занурених макрофітів озер м. Києва

Види	Fe	Zn	Cu	Co
<i>Ceratophyllum demersum</i>	$\frac{3169-41632}{18217}$	$\frac{2041-8518}{4240}$	$\frac{400-1962}{1066}$	$\frac{198-809}{401}$
<i>Potamogeton perfoliatus</i>	$\frac{2211-13757}{7209}$	$\frac{1739-5289}{3301}$	$\frac{362-1881}{1205}$	$\frac{108-300}{204}$
<i>Myriophyllum spicatum</i>	$\frac{4948-22263}{13286}$	$\frac{994-5445}{3145}$	$\frac{394-1548}{988}$	$\frac{120-518}{268}$

П р и м і т к а. Над рискою — граничні значення, під рискою — середні значення.

Значні величини КБН свідчать про те, що досліджувані види вищих водних рослин здатні в значній мірі акумулювати і концентрувати метали з водного середовища, призводячи до його очищення. Таким чином, *C. demersum*, *M. spicatum* і *P. perfoliatus* відповідають вимогам до видів, які використовують у системі біомоніторингу та фітореMediaції: високі значення КБН металів та стійкість до їхнього впливу, значна інтенсивність росту, широке розповсюдження, проста та дешева методика відбору проб [17, 25]. Загальними перевагами такого використання водних рослин в біотехнологіях видалення потенційно токсичних металів із водного середовища вважаються економічна ефективність та екологічність [5].

### Висновки

Визначення концентрації важких металів (Fe, Cu, Zn, Co) у воді озер м. Києва та рівнів їхнього накопичення у занурених макрофітах *Ceratophyllum demersum*, *Myriophyllum spicatum* і *Potamogeton perfoliatus* показало, що ці види здатні в значній мірі акумулювати метали з водного середовища, про що свідчать високі значення коефіцієнтів біологічного накопичення (від сотень до десятків тисяч), і є достатньо стійкими до їхнього впливу. Виявлено наявність взаємозв'язку між концентрацією досліджуваних металів у воді і їхнім вмістом у представниках занурених макрофітів (водні макрофіти з більш забруднених важкими металами озер накопичують більшу кількість металів). На підставі цього можна рекомендувати використання *C. demersum*, *M. spicatum* і *P. perfoliatus* в системі біомоніторингу забруднення природних вод важкими металами, а також для фітореMediaції та відновлення екологічного стану водойм.

В результаті досліджень рівнів забруднення озер лівого та правого берегів м. Києва такими металами, як Fe, Cu, Zn, Co, з використанням занурених макрофітів як біомоніторів, встановлено, що найбільш забрудненими важкими металами є озера Мінське, Лугове, Богатирське, Кирилівське та Йорданське (система озер Опечень), які зазнають значного антропогенного впливу внаслідок розміщення поблизу промислових підприємств. У воді озер Редьчине, Вербне, Синє, Тягле і Тельбін виявлено найменшу концентрацію досліджуваних важких металів.

### Список використаної літератури

1. Денисова А.И., Тимченко В.М., Нахшина Е.П. и др. Гидрология и гидрохимия Днепра и его водохранилищ. Киев : Наук. думка, 1989. 216 с.
2. Дубына Д.В., Гейны С., Гроудова З. и др. Макрофиты — индикаторы измененной природной среды. Киев : Наук. думка, 1993. 434 с.
3. Інструкція з відбирання, підготовки проб води і ґрунту для хімічного та гідробіологічного аналізу гідрометеорологічними станціями і постами. Затверджено наказом ДСНС України №30 від 19.01.2016 р. <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0030388-16>.
4. ЦКПП «Спектрометрический центр элементного анализа (СЦЭА)» при Национальном ботаническом саде им. Н.Н.Гришко НАН Украины. [http://www.nbg.kiev.ua/ru/scientific\\_activity/scea](http://www.nbg.kiev.ua/ru/scientific_activity/scea).

5. Ali S., Abbas Z., Rizwan M. et al. Application of floating aquatic plants in phytoremediation of heavy metals polluted water: a review. *Sustainability*. 2020. Vol. 12, N 5. <https://www.mdpi.com/2071-1050/12/5/1927/pdf>.
6. Basile A., Sorbo S., Conte B. et al. Toxicity, accumulation, and removal of heavy metals by three aquatic macrophytes. *Int. J. Phytoremediation*. 2012. Vol. 14, N 4. P. 374—387.
7. Bedabati Chanu L., Gupta A. Phytoremediation of lead using *Ipomoea aquatica* Forsk. in hydroponic solution. *Chemosphere*. 2016. Vol. 156. P. 407—411.
8. Bonanno G., Borg J.A., Di Martino V. Levels of heavy metals in wetland and marine vascular plants and their biomonitoring potential: a comparative assessment. *Sci. Total Environ.* 2017. Vol. 576. P. 796—806.
9. Buta E., Török A., Csog A. et al. Comparative studies of the phytoextraction capacity of five aquatic plants in heavy metal contaminated water. *Not. Bot. Horti Agrobi.* 2014. Vol. 42, N 1. P. 173—179.
10. Costa M.B., Tavares F.V., Martinez C.B. et al. Accumulation and effects of copper on aquatic macrophytes *Potamogeton pectinatus* L.: potential application to environmental monitoring and phytoremediation. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 2018. Vol. 155. P. 117—124.
11. De Souza C.B., Silva G.R. Phytoremediation of effluents contaminated with heavy metals by floating aquatic macrophytes species. 2019. <https://www.intechopen.com/books/biotechnology-and-bioengineering/>.
12. El Falaky A.A., Aboulroos S.A., Saoud A.A., Ali M.A. Aquatic plants for bioremediation of waste water. Eighth Intern. Water Technology Conference, IWTC8-2004, Alexandria, Egypt. P. 361—376.
13. Fawzy M.A., Badr Nel-S., El-Khatib A., Abo-El-Kassem A. Heavy metal biomonitoring and phytoremediation potentialities of aquatic macrophytes in River Nile. *Environ. Monit. Assess.* 2012. Vol. 184, N 3. P. 1753—1771.
14. Galal T.M., Farahat E.A. The invasive macrophyte *Pistia stratiotes* L. as a bioindicator for water pollution in Lake Mariut, Egypt. *Environ. Monit. Assess.* 2015. Vol. 187, N 11. <https://doi.org/10.1007/s10661-015-4941-4>.
15. Iha D.S., Bianchini I. Jr. Phytoremediation of Cd, Ni, Pb and Zn by *Salvinia minima*. *Intern. J. Phytoremediation*. 2015. Vol. 17, N 10. P. 929—935.
16. Klochenko P.D., Kharchenko G.V., Zubenko I.B., Shevchenko T.F. Some peculiarities of accumulation of heavy metals by macrophytes and epiphyton algae in water bodies of urban territories. *Hydrobiol. J.* 2007. Vol. 43, N 6. P. 46—57.
17. Krems P., Rajfur M., Waclawek M., Kłos A. The use of water plants in biomonitoring and phytoremediation of waters polluted with heavy metals. *Ecol. chem. eng. s.* 2013. Vol. 20, N 2. P. 353—370.
18. Krot Yu.G. The use of higher aquatic plants in biotechnologies of surface water and wastewater treatment. *Hydrobiol. J.* 2006. Vol. 42, N 3. P. 44—55.
19. Linnik P.N. Heavy metals in surface waters of Ukraine: their content and forms of migration. *Ibid.* 2000. Vol. 36, N 3. P. 31—54.
20. Linnik P.N., Zhezherya V.A., Ignatenko I.I. Role of suspended matter fractions differing in the size of their particles in the accumulation and migration of metals in lake systems. *Ibid.* 2019. Vol. 55, N 6. P. 91—107.
21. Madsen J.D., Chambers P.A., James W.F. et al. The interaction between water movement, sediment dynamics and submersed macrophytes. *Hydrobiologia*. 2001. Vol. 444. — P. 71—84.
22. Obinna I.S., Eberé E.C. A review: water pollution by heavy metal and organic pollutants: brief review of sources, effects and progress on remediation with aquatic plants. *Analytical Methods in Environ. Chem. J.* 2019. Vol. 2, N 3. P. 5—38. <https://doi.org/10.24200/amecj.v2.i03>.
23. Olguín E.J., Sánchez-Galván G. Heavy metal removal in phytofiltration and phytoremediation: the need to differentiate between bioadsorption and bioaccumulation. *New Biotechnol.* 2012. Vol. 30, N 1. P. 3—8.

24. Pasichna O.O. Use of macrophytes for biomonitoring and purification of the aquatic environment at combined pollution by heavy metals. *Hydrobiol. J.* 2013. Vol. 49, N 6. P. 72—79.

25. Pasichnaya Ye.A., Gorbatiuk L.O., Arsan O.M. et al. Assessment of a possibility of the use of aquatic macrophytes for biomonitoring and phytoindication of the contamination of natural waters by heavy metals. *Ibid.* 2020. Vol. 56, N 1. — P. 81—89.

26. Rezanian S., Taib S.M., Md Din M.F. et al. Comprehensive review on phytotechnology: heavy metals removal by diverse aquatic plants species from wastewater. *J. Hazard. Mater.* 2016. Vol. 318. P. 587—599.

Надійшла 24.02.2021

O.O. Pasichna, PhD (Biol.), Senior Researcher,  
Institute of Hydrobiology of the NAS of Ukraine,  
12 Geroyiv Stalingrada Ave, Kyiv, 04210, Ukraine,  
e-mail: ecopasichna@gmail.com

L.O. Gorbatiuk, PhD (Tech.), Senior Researcher,  
Institute of Hydrobiology of the NAS of Ukraine,  
12 Geroyiv Stalingrada Ave, Kyiv, 04210, Ukraine

M.O. Platonov, PhD (Biol.), Researcher,  
Institute of Hydrobiology of the NAS of Ukraine,  
12 Geroyiv Stalingrada Ave, Kyiv, 04210, Ukraine

S.P. Burmistrenko, Leading Engineer,  
Institute of Hydrobiology of the NAS of Ukraine,  
12 Geroyiv Stalingrada Ave, Kyiv, 04210, Ukraine

O.O. Godlevska, PhD (Phys. and Math.), Assoc. Prof.,  
National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine,  
15 Heroiv Oborony St., Kyiv, 03041, Ukraine,  
e-mail: godlevok@gmail.com

T.V. Vitovetska, PhD (Chem.), Assoc. Prof.,  
Kyiv National University of Construction and Architecture,  
31 Povitroflotsky Ave, Kyiv, 03680, Ukraine,  
e-mail: vitovetskaya@ukr.net

#### PECULIARITIES OF HEAVY METALS ACCUMULATION BY AQUATIC MACROPHYTES OF KYIV CITY LAKES AND THEIR BIOREMEDIATIVE CAPACITY ASSESSMENT

Studies of the concentrations of heavy metals in the water of Kyiv city lakes and the levels of their accumulation in submerged higher aquatic plants *Ceratophyllum demersum* L., *Myriophyllum spicatum* L. and *Potamogeton perfoliatus* L were carried out. The possibility of using of these species of aquatic macrophytes in the system of monitoring of heavy metals water pollution in urban areas reservoirs was considered. It was revealed that the most polluted by heavy metals are the lakes of the Opechen system (Minske, Luhove, Bohatyrsk, Kyrylivske, Yordanske). High values of coefficients of biological accumulation of Fe, Cu, Zn, Co in the studied species of submerged macrophytes were established. The use of *C. demersum*, *M. spicatum* and *P. perfoliatus* for phytoremediation and restoration of ecological status of reservoirs contaminated with heavy metals was recommended.

**Keywords:** heavy metals, aquatic macrophytes, lakes, Kyiv, biomonitoring, phytoremediation.