

УДК 574.4:504.054

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

Л.О. ГОРБАТЮК, к. т. н., ст. наук. співроб.,
Інститут гідробіології НАН України,
просп. Володимира Івасюка, 12, Київ, 04210, Україна,
e-mail: ludmila.horbatiuk@gmail.com

М.О. ПЛАТОНОВ, к. б. н., наук. співроб.,
Інститут гідробіології НАН України,
просп. Володимира Івасюка, 12, Київ, 04210, Україна,
e-mail: n.platonov73@gmail.com

С.П. БУРМІСТРЕНКО, пров. інженер,
Інститут гідробіології НАН України,
просп. Володимира Івасюка, 12, Київ, 04210, Україна,
e-mail: ecotoxhydrobiol@gmail.com

І.М. НЕЗБРИЦЬКА, к. б. н., ст. наук. співроб.,
Інститут гідробіології НАН України,
просп. Володимира Івасюка, 12, Київ, 04210, Україна,
e-mail: inna_imn@ukr.net

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

ЗАБРУДНЮВАЛЬНІ РЕЧОВИНИ ТА ЇХ ПОТЕНЦІЙНА ТОКСИЧНІСТЬ У ВОДОЙМАХ ДЕНДРОПАРКУ «ОЛЕКСАНДРІЯ» (УКРАЇНА)

Досліджено рівні забруднення важкими металами, нафтопродуктами та аніонними синтетичними поверхнево-активними речовинами (СПАР) водойм дендропарку «Олександрія» (м. Біла Церква, Україна) у серпні 2022 р., а також проведено оцінку потенційної токсичності цих речовин для гідробіонтів. Доведено, що виявлені концентрації низки важких металів (Cu, Zn, Mn, Fe, Pb) у водоймах Західної бал-

Ц и т у в а н н я: Пасічна О.О., Горбатюк Л.О., Платонов М.О., Бурмістренко С.П., Незбрицька І.М., Годлевська О.О., Вітовецька Т.В. Забруднювальні речовини та їх потенційна токсичність у водоймах дендропарку «Олександрія» (Україна). *Гідробіол. журн.* 2023. Т. 59. № 5. С. 76—92.

ки дендропарку «Олександрія» можуть негативно впливати на життєдіяльність гідробіонтів (водних рослин, риб тощо). Максимальну концентрацію нафтопродуктів було виявлено у воді ставка Холодний (Східна балка дендропарку), що може спричинити розвиток токсичних ефектів у гідробіонтів. У воді ставків також присутні аніонні СПАР, ймовірно, внаслідок потрапляння комунально-побутових стоків, що також призводить до погіршення еколого-токсикологічного стану досліджуваних водойм.

Ключові слова: важкі метали, нафтопродукти, аніонні поверхнево-активні речовини, гідробіонти, токсичність, ставки, дендропарк «Олександрія».

Забруднення навколишнього середовища є однією з головних проблем сьогодення. Це обумовлено швидким розвитком промисловості, підвищеним попитом на енергію та недбалим використанням природних ресурсів протягом останніх десятиліть [20].

Важкі метали потрапляють у навколишнє середовище з різних природних і антропогенних джерел. Природними джерелами важких металів є переважно виверження вулканів і вивітрювання металовмісних порід. Антропогенне надходження металів відбувається внаслідок сільськогосподарської та промислової діяльності людини, спалювання палива та бензину, роботи сміттєспалювальних заводів тощо і залишається однією з головних загроз для природних екосистем, в тому числі і водних [20, 40]. Забруднення важкими металами водного середовища є серйозною проблемою у випадку, якщо їхні концентрації перевищують такі, що вважаються безпечними для живих організмів [28]. Токсичність важких металів пов'язана з такими їхніми властивостями як стійкість (нездатність до біологічного розкладу), здатність до біоаккумуляції та біоконцентрування [20, 30, 40].

Концентрації важких металів, які зустрічаються в поверхневих водах, часто перевищують рівні, встановлені Європейським Союзом як стандарти якості природних вод [19, 31]. Потрапляння металів у водне середовище викликає зміни його фізико-хімічних властивостей, що може негативно впливати на водні організми, особливо риби, які є дуже чутливими до таких змін [28]. Важкі метали у розчинній формі здатні потрапляти в організм гідробіонтів. Біо накопичення токсичних важких металів у різних тканинах завдає шкоди живим організмам, спричиняючи порушення перебігу фізіологічних процесів, а також призводить до передачі металів по харчовим ланцюгам. Встановлено, що деякі з важких металів є високотоксичними, мутагенними та тератогенними [18]. Біодоступність і накопичення важких металів гідробіонтами залежить від багатьох чинників, таких як концентрація, тривалість їх впливу, взаємодія з іншими металами, фізико-хімічні параметри навколишнього середовища, біологічні характеристики живих організмів [18, 28].

Серед широкого спектру забруднювальних речовин, що потрапляють у водні об'єкти внаслідок діяльності людини, окрім важких металів, слід відзначити нафтопродукти та СПАР.

Продукти переробки нафти належать до найбільш небезпечних токсикантів, вплив яких призводить до порушення природної екологічної

рівноваги у водоймах та створює загрозу для безпечного існування гідробіонтів [15]. Основними джерелами їх надходження у внутрішні водойми є стічні води промислових і комунальних підприємств та поверхневий стік з площі водозбору під час дощів і паводків.

Впливаючи на усі ланки трофічного ланцюга, нафтопродукти передусім є токсичними для водних фотосинтезуючих організмів, які становлять продукційну та енергетичну основу гідробіоценозів, а також несуть небезпеку для риб та інших гідробіонтів [14].

Окрім безпосереднього токсичного впливу на гідрофіти, сира нафта та продукти її переробки здатні викликати різні сублетальні ефекти, діючи на ферментні системи, фотосинтез, дихання, синтез білків і нуклеїнових кислот тощо [26, 36]. Тривають дослідження можливих механізмів токсичності компонентів нафти на вищі водні рослини та водорості. Як один із вірогідних шляхів, зокрема, розглядають поетапний розвиток реакцій окиснювального стресу в організмах-мішенях за впливу нафтопродуктів [45].

Фітотоксичні концентрації значно варіюють в залежності як від хімічного складу сирової нафти і нафтопродуктів, так і від виду водоростей та стадії їхнього розвитку. Проте, обґрунтовані узагальнення щодо величини фітотоксичних концентрацій складно зробити через нерівномірний характер напрацьованої бази даних і широкий спектр зареєстрованих токсичних ефектів. На підставі багаторічних досліджень виявлено, що для більшості протестованих видів водоростей нафту (нафтопродукти) можна вважати високотоксичними, якщо їх LC_{50} становило 0,1—1,0 мг/дм³, помірно токсичними — LC_{50} в межах 1—10 мг/дм³, практично нетоксичними, якщо LC_{50} перевищувало 100 мг/дм³ [26]. Припускають, що більша токсичність притаманна нафтопродуктам з високим вмістом ароматичних та асфальтенових сполук [41].

Аніонні СПАР — необхідний компонент у складі більшості детергентів та миючих засобів. Незважаючи на високу ефективність видалення при очищенні стоків, певна частка цих речовин завжди буде надходити у водні екосистеми внаслідок великих обсягів їх споживання. Достатня кількість достовірних даних свідчить про токсичний вплив СПАР на гідробіонтів усіх трофічних рівнів [10, 25, 37], а викликані при цьому токсичні ефекти є складними і видоспецифічними [24].

З року в рік внаслідок зростання антропогенного тиску збільшується надходження токсичних речовин і у внутрішні водойми України. З 2022 р. до негативних чинників, що впливають на їх еколого-токсикологічний стан, додалися руйнівні наслідки військових дій, що за своїми масштабами мають ознаки екоциду [1]. Це стосується як водойм урбанізованих територій, так і водних об'єктів природно-заповідного фонду, до яких належить, зокрема, дендрологічний парк «Олександрія» (м. Біла Церква).

Слід зазначити, що водойми дендропарку «Олександрія» впродовж тривалого часу ґрунтовно досліджувалися на предмет їхнього забруднен-

ня неорганічними сполуками азоту і фосфору, хлоридами та органічними речовинами, що відображено у відповідних публікаціях [3, 22, 23, 38, 39].

Проте, стан забруднення ставків парку «Олександрія» специфічними токсичними речовинами, такими як важкі метали, нафтопродукти, поверхнево-активні речовини, до цього часу вивчений недостатньо. Найбільш результативні і систематизовані дослідження в цьому напрямку відбувалися протягом 1990—1993 рр. та у 2001 р. Безперечно, що встановлення рівнів забруднення ставків парку токсичними речовинами різної хімічної природи є актуальним завданням гідроекологічних досліджень і на сучасному етапі.

Отже, метою нашої роботи було визначення концентрації важких металів, нафтопродуктів і аніонних СПАР у водоймах дендропарку «Олександрія» та оцінка потенційного впливу цих речовин на життєдіяльність гідробіонтів та функціонування гідроекосистем в цілому.

Матеріал і методика досліджень

Об'єктами дослідження були 11 ставків, які розташовані на території дендропарку «Олександрія» (м. Біла Церква, Київська область). Вони живляться за рахунок підземних джерел та формують три каскади, які розташовані відповідно у Східній, Середній і Західній балках (рис. 1). Усі ставки парку доволі схожі за морфометричними характеристиками, але суттєво відрізняються за вмістом біогенних елементів, хлоридів та органічних речовин [3, 23].

Відбір проб води для визначення вмісту важких металів, нафтопродуктів і аніонних СПАР проводили у серпні 2022 р. за відповідними методиками [2, 5, 6]. Проби відбирали в літоралі ставків з поверхневого (0,2—0,3 м) шару води.

Для визначення розчинної форми металів ($Zn_{\text{розч}}$, $Mn_{\text{розч}}$, $Pb_{\text{розч}}$, $Ni_{\text{розч}}$, $Cu_{\text{розч}}$, $Fe_{\text{розч}}$) відібрану воду фільтрували через нітроцелюлозні мембранні фільтри «Fioconi» (КНР) з діаметром пор 0,45 мкм, потім підкисляли концентрованою азотною кислотою (з розрахунку 12 см³ кислоти на 1 дм³ води) [2]. Визначення концентрації розчинної форми металів у воді проводилось методом оптичної емісійної спектроскопії з індуктивно-зв'язаною плазмою на оптичному емісійному спектрометрі iCAP 6300 Duo (Thermo-Fisher Corporation, США) [11, 29].

При відборі проб для визначення вмісту нафтопродуктів не допускали потрапляння їхньої поверхневої плівки. Потім проводили фільтрування відібраної води через фільтрувальний папір для видалення механічних домішок. Масову концентрацію розчиненої у воді фракції нафтопродуктів визначали флуориметричним методом на аналізаторі рідини «Флюорат-02-3М». Метод заснований на екстракції нафтопродуктів з води гексаном з подальшим вимірюванням інтенсивності флуоресценції отриманого гексанового екстракту [6].

Визначення аніонних СПАР у воді проводили колориметричним методом з використанням приладу КФК-3. Основою методу є реакція СПАР

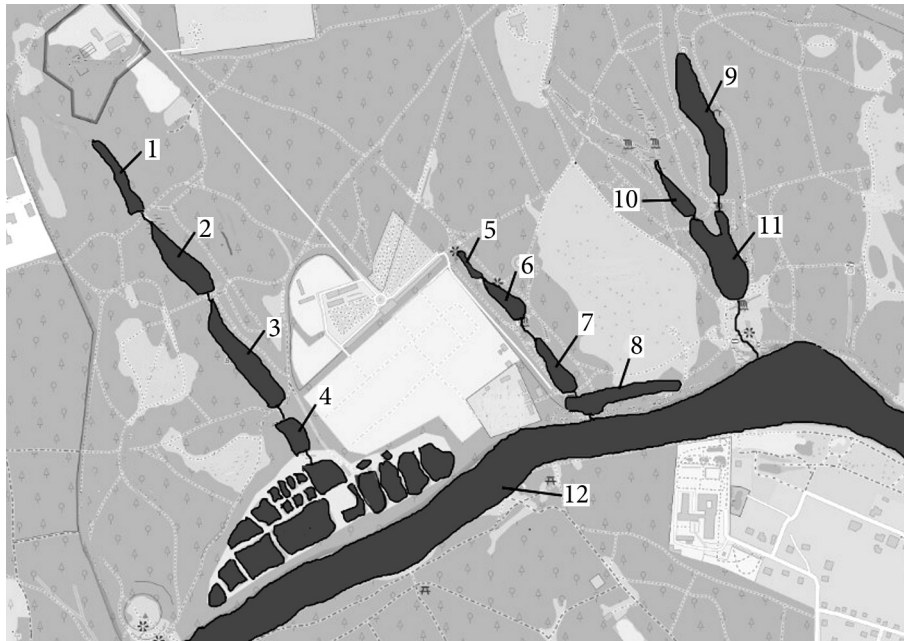


Рис. 1. Ставки дендропарку «Олександрія» (49°48'35"N, 30°03'43"E). Західна балка: 1 — Потерчата, 2 — Русалка, 3 — Водяник, 4 — Скельний; Середня балка: 5 — Акваріум Золотої Рибки, 6 — Лебединий, 7 — Поповича, 8 — Срібний Серпанок; Східна балка: 9 — Дзеркальний, 10 — Холодний, 11 — Лазневий; 12 — річка Рось

з катіонним барвником (метиленовий блакитний) з утворенням забарвленої комплексної сполуки, яку екстрагують із води хлороформом [5].

Оцінку якості води здійснювали згідно відповідної методики [7], а визначені концентрації хімічних речовин порівнювали з величинами, затвердженими у документах ЄС [19, 31] для різних класів внутрішніх поверхневих вод.

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

Важкі метали. Встановлено, що важкі метали (Mn, Fe, Zn, Cu, Ni, Pb) у воді досліджуваних ставків дендропарку «Олександрія» за зменшенням середньої концентрації їх розчинної форми можна розташувати у ряду: Mn, Fe > Zn > Cu > Pb, Ni. Більшість цих металів (Mn, Fe, Zn, Cu, Ni) у мікрограмових концентраціях необхідні для функціонування ферментних систем та життєдіяльності рослинних і тваринних організмів [12]. Однак, зростання концентрації цих металів у навколишньому середо-

вищі та надлишкове накопичення у живих організмах може призводити до токсичних ефектів, пригнічення перебігу метаболічних процесів і навіть загибелі. Pb не має встановленої біологічної ролі для живих організмів і навіть у невисоких концентраціях виявляє токсичність [13].

В результаті проведених досліджень у воді водойм дендропарку «Олександрія» м. Білої Церкви було виявлено $Cu_{розч}$ у концентрації 14—67 мкг/дм³ (рис. 2). При цьому найбільшою концентрація $Cu_{розч}$ була у водоймах Західної Балки (Потерчата, Скельний, Русалка, Водяник), яка досягала 41—67 мкг/дм³. Такі концентрації $Cu_{розч}$ у воді природних водойм були значно вищими за концентрації купруму, визначені стандартами якості води для водойм I—II класу як сприятливі для функціонування водних екосистем згідно рекомендацій ЄС (<20 мкг/дм³ $Cu_{розч}$) [31]. Згідно [7] за концентрацією $Cu_{розч}$ вода досліджуваних водойм Західної Балки належить до категорії «брудні». Серед інших водойм дендропарку «Олександрія» найбільшими концентраціями $Cu_{розч}$ характеризувалися ставки Дзеркальний (31 мкг/дм³), Холодний і Лебединий (34 мкг/дм³). В інших водоймах парку концентрація $Cu_{розч}$ знаходилась в межах 14—24 мкг/дм³ (рис. 2).

Існують відомості, що купрум токсично впливає на прісноводні риби у концентрації від 10 до 20 мкг/дм³ [20, 43]. Токсичність купруму для водних організмів залежить від багатьох чинників, зокрема, твердості води, рН, вмісту аніонів і розчиненого органічного вуглецю [20]. Зокрема, встановлено, що при зростанні твердості води токсичність Cu зменшується. Так, для форелі райдужної (*Oncorhynchus mykiss* Walbaum) масою 1—2 г токсичність Cu в м'якій воді (при 20 мг/дм³ CaCO₃) була приблизно в 20 разів більшою, ніж у твердій воді (при 120 мг/дм³ CaCO₃) [43]. Вивчення токсичності міді для молоді коропа звичайного (*Cyprinus carpio* L.) в експериментальних умовах показало, що LC₅₀ (96 год) становить 0,77±0,03 мкМ Cu [18].

Також результати експериментальних досліджень засвідчили, що $Cu_{розч}$ у концентрації 10—20 мкг/дм³ призводить до зменшення інтенсивності фотосинтезу та вмісту фотосинтетичних пігментів у вищих водних рослин та водоростей [32, 33, 34].

У воді ставків дендропарку «Олександрія» концентрація $Zn_{розч}$ знаходилась в межах 22—96 мкг/дм³ (див. рис. 2). При цьому найвищу концентрацію $Zn_{розч}$ виявлено у водоймах Західної Балки (66—96 мкг/дм³), що у більшості випадків перевищує рекомендовані ЄС концентрації металу для водойм I—II класу якості вод (≤ 70 мкг/дм³ $Zn_{розч}$) [31]. Згідно [7] вода досліджуваних водойм Західної Балки дендропарку «Олександрія» за концентрацією $Zn_{розч}$ належить до категорії «помірно забруднені».

Щодо токсичності цинку для гідробіонтів, то в експериментальних дослідженнях було виявлено, що показник LC₅₀ (96 год) для молоді коропа звичайного становить 29,89±9,03 мкМ, а токсичність металу для деяких фізіолого-біохімічних процесів у риб виявлялась вже при набагато менших концентраціях металу у водному середовищі [18]. Встановлено безпечні концентрації Zn^{2+} у воді для різних видів риб: для *Aristichthys*

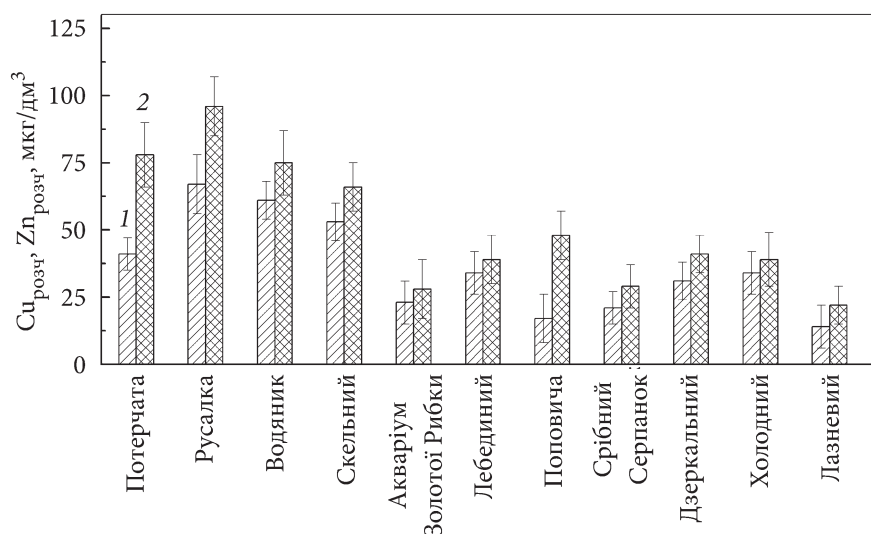


Рис. 2. Концентрація розчинної форми купруму (1) та цинку (2) у воді ставків дендропарку «Олександрія» ($M \pm m$; $n = 3-4$)

nobilis Richardson — 8 мкг/дм³, *Stenopharyngodon ilellus* C. et V. — 46 мкг/дм³, *Megalobrama aimbly-cephala* Yih — 10 мкг/дм³, *Hypophthalmichthys molitrix* C. et V. — 12 мкг/дм³, малька *H. molitrix* — 90 мкг/дм³ [44]. Перевищення же таких концентрацій цинку у водному середовищі несприятливо відображається на розвитку ікри та темпах росту мальків цих видів риб. Таким чином, доведено, що токсичність цинку є видоспецифічною і залежить від стадії розвитку риб, а також від таких чинників, як температура, твердість води та концентрація розчиненого кисню. При концентраціях цинку у воді, що виявляють гостру токсичність, руйнується тканина зябер риб, що призводить до їх швидкої загибелі. Хронічний стрес у риб виникає при значно менших концентраціях цинку у водному середовищі, які за тривалої дії також можуть призводити до їхньої загибелі [20].

У воді інших водойм дендропарку «Олександрія» концентрація Zn_{розч} знаходилась в межах 22—48 мкг/дм³ (див. рис. 2).

У воді досліджуваних ставків також виявлено Pb_{розч} у концентрації 1—7 мкг/дм³ (рис. 3). Тобто згідно стандартів якості поверхневих вод [31], у більшості водойм дендропарку спостерігається перевищення рекомендованої концентрації Pb_{розч} для водойм I—II класу якості вод (2,5 мкг/дм³). Однак, встановлено, що Pb²⁺ має значну здатність до комплексоутворення і випадання в осад, яка зростає при підвищенні рН водного середовища в результаті життєдіяльності рослинних організмів [27]. Це пов'язано з утворенням нерозчинних або малорозчинних сполук металу майже з усіма наявними у воді аніонами, зокрема SO₄²⁻, Cl⁻, CO₃²⁻.

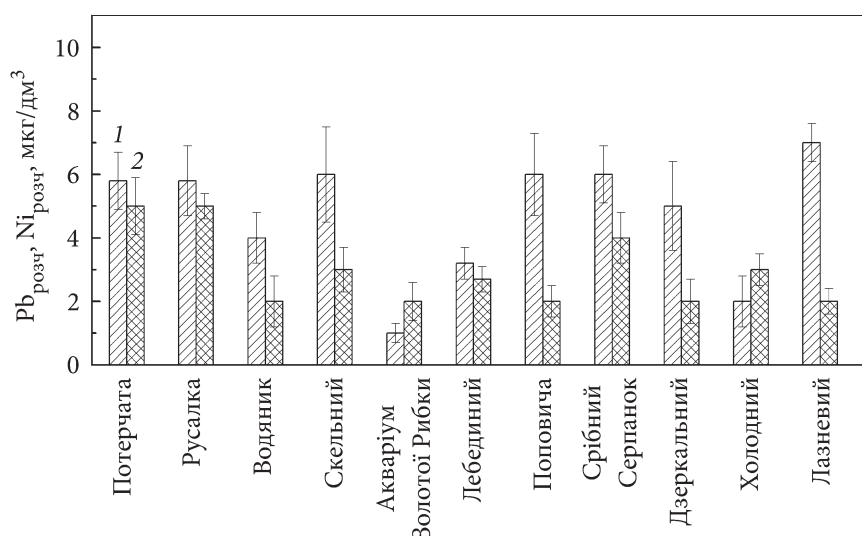


Рис. 3. Концентрація розчинної форми свинцю (1) та нікелю (2) у воді ставків дендропарку «Олександрія» ($M \pm m$; $n = 3-4$)

У зв'язку з цим зменшується біодоступність та токсичність свинцю для гідробіонтів [33].

Щодо нікелю, то в усіх досліджуваних ставках дендропарку «Олександрія» його концентрації знаходились в межах 2—5 мкг/дм³ (див. рис. 3) і не перевищували рекомендовані рівні для водойм I—II класу якості вод [31]. Воду досліджуваних водойм за вмістом нікелю можна віднести до категорії «досить чистої» згідно [7].

Виявлено, що максимальним вмістом $Mn_{розч}$ у воді характеризувалися ставки Потерчата і Русалка (Західна балка), відповідно 391 та 221 мкг/дм³ (рис. 4), що у 3,9 і 2,2 рази вище, ніж допустима концентрація для водойм I та II класу якості вод (≤ 100 мкг/дм³ $Mn_{розч}$) [31]. Згідно [7] вода цих ставків Західної Балки за концентрацією $Mn_{розч}$ належить до категорії «помірно забруднені». Меншу концентрацію мангану (47—119 мкг/дм³) виявлено у водоймах Середньої та Східної балки, а також у двох інших ставках Західної балки (Водяник і Скельний) (рис. 4).

Результати експериментальних досліджень показали, що манган у концентраціях 100—200 мкг/дм³ може виявляти токсичний вплив на газообмінні процеси та вміст фотосинтетичних пігментів у вищих водних рослин та деяких нитчастих водоростей [32, 35]. Також на протестованих видах гідробіонтів (*Amerianna cumingi* H. Adams, *Moinodaphnia macleayi* King та *Hydra viridissima* Pallas) встановлено, що концентрації хронічного токсичного та гострого летального впливу (LC_{50}) коливалися від 140 до 80 000 мкг/дм³ [21]. Виявлено, що вплив 0,1 мМ $Mn_{розч}$ на *Carassius auratus* L. протягом 96 год викликає найбільш виражені зміни в печінці риб і

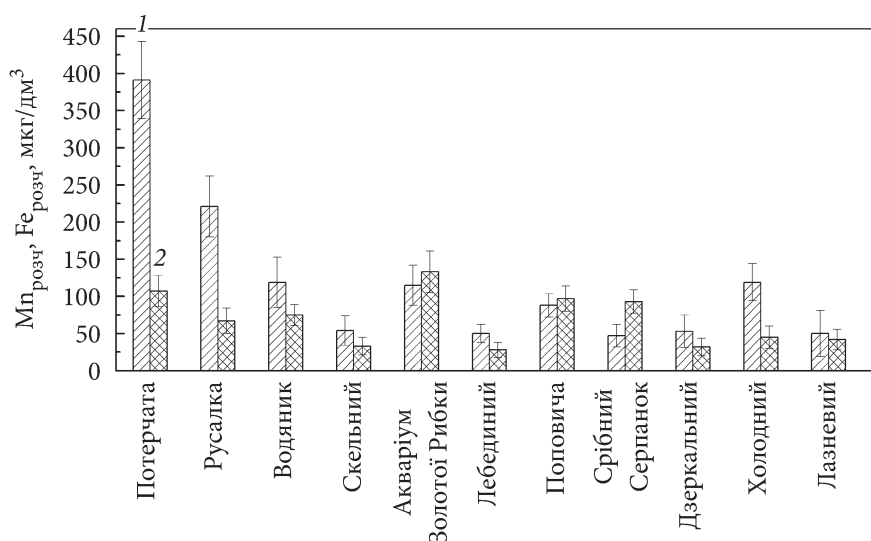


Рис. 4. Концентрація розчинної форми мангану (1) та феруму (2) у воді ставків дендропарку «Олександрія» ($M \pm m$; $n = 3-4$)

спричиняє генералізований окиснювальний стрес у їхньому організмі [42].

В ставках дендропарку «Олександрія» концентрація $Fe_{розч}$ знаходилась в межах 28—133 $\mu\text{кг}/\text{дм}^3$ (див. рис. 4). Слід зазначити, що нормативи якості поверхневих вод розраховані головним чином на вміст загального феруму [7, 31], однак, було встановлено, що показник LC_{50} (96 год) для форелі струмкової *Salmo trutta* L. становив 50 $\mu\text{кг}$ $Fe_{розч}$. (при додаванні у воду сульфату заліза (III), який використовується для обробки водойм з метою пригнічення росту водоростей). При цьому спостерігалось порушення дихання риб через накопичення феруму зябрами, що призводило до їхнього закупорювання і пошкодження; водночас накопичення феруму в плазмі риб не було зафіксовано [17].

Таким чином, згідно результатів проведених досліджень щодо рівнів забруднення водойм дендропарку «Олександрія» важкими металами у водоймах Західної балки концентрації розчинних форм купруму, цинку, мангану та плумбуму перевищують рекомендовані для водойм I та II класу якості вод [31]. Слід відзначити, що забруднення водойм Західної балки такими металами як Cu і Zn зросло у декілька разів порівняно з 1995—2001 рр. [8]. Отже, одержані результати досліджень та літературні відомості [3, 8] щодо накопичення забруднювальних речовин у воді та донних відкладах водойм Західної балки дендропарку свідчать про хронічно несприятливі умови для функціонування їхніх екосистем.

Акумуляція значної кількості важких металів первинними ланками харчових ланцюгів водних екосистем (гідрофітами) спричиняє токсичні ефекти, призводячи до зменшення інтенсивності фотосинтезу, вмісту фо-

тосинтетичних пігментів та пригнічення низки інших фізіолого-біохімічних процесів, що в кінцевому результаті може призвести до загибелі рослинних організмів, внаслідок чого метали знову перейдуть у водне середовище і призведуть до його вторинного забруднення [34].

Потрапляючи до організму різних видів риб, важкі метали можуть викликати гематологічні та біохімічні зміни, включаючи клітинні та ядерні аномалії. За гострого та хронічного впливу важких металів зафіксовано різні типи патологій основних органів риб (зябра, печінка, нирки, кишківник та ін.). В результаті таких досліджень у риб виявили також експресію різних генів, які беруть участь в захисті від окиснювального стресу та детоксикації важких металів [28], оскільки основним молекулярним механізмом токсичності металів для гідробіонтів є розвиток окиснювального стресу. Він послаблює імунну систему, викликає пошкодження у тканинах і органах, порушення росту, зниження репродуктивної здатності. При використанні риби як харчового продукту акумульовані в її тканинах важкі метали переходять в організм людини і викликають токсичні ефекти та призводять до різного роду захворювань [20].

Нафтопродукти. Визначення концентрацій розчиненої фракції нафтопродуктів у воді ставків дендропарку «Олександрія» показало, що їх величини відрізнялися для різних водойм залежно від їхньої локації (рис. 5).

За даними попередніх досліджень відомо, що внаслідок хронічного техногенного навантаження в ставках урочища «Потерчата» вміст нафтопродуктів протягом десятирічного періоду становив 0,5—5,6 мг/дм³ залежно від відстані до джерела забруднення, а у поверхневих водах урочища «Китайський місток» коливався в межах 0,2—0,8 мг/дм³ [4].

Ці результати добре узгоджуються з даними інших дослідників [8], згідно яких концентрація нафтопродуктів у 1995—1999 рр. варіювала у ставку Потерчата від 0,12 до 4,94 мг/дм³, ставку Русалка — від 0,07 до 4,40 мг/дм³, ставку Водяник — від 0,04 до 3,68 мг/дм³, що у десятки разів перевищувало значення, регламентовані ЄС як достатньо нешкідливі для функціонування водних екосистем (0,05—0,1 мг/дм³) [31]. У відповідності до екологічної класифікації якості поверхневих вод [7] за вмістом нафтопродуктів вода зазначених ставків у той період визначалася як «дуже брудна».

Отримані нами дані свідчать про те, що у 2022 р. концентрація нафтопродуктів у воді ставків Західної і Середньої балки мала значно нижчі значення і варіювала в межах 0,025—0,035 та 0,022—0,031 мг/дм³ відповідно. Згідно екологічної класифікації якості поверхневих вод [7] за вмістом нафтопродуктів водойми на теперішній час можна віднести до категорії «досить чисті». Є підстави вважати, що внаслідок процесів самоочищення водних екосистем дендропарку відбувається накопичення нафтопродуктів у мулах, ймовірно їх окиснення з утворенням легкомігруючих металоорганічних сполук, а також міграція з одночасним пониженням концентрації токсикантів в основному потоці [4].

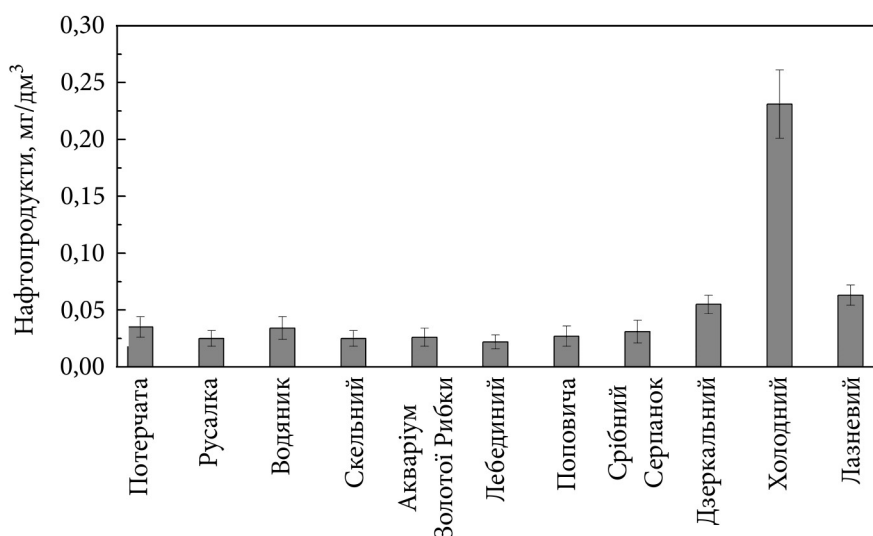


Рис. 5. Концентрація нафтопродуктів у воді ставків дендропарку «Олександрія» ($M \pm m$; $n = 3-4$)

На тлі вищезазначеного привертає увагу аномально висока концентрація нафтопродуктів ($0,231 \text{ мг/дм}^3$) у воді ставка Холодний (Східна балка), що значно перевищує концентрації нафтопродуктів, визначені нормативними документами ЄС для водойм I та II класу якості вод як сприятливі для функціонування водних екосистем ($0,05$ і $0,1 \text{ мг/дм}^3$ відповідно) [31]. Згідно методики [7] за вмістом нафтопродуктів воду ставка Холодний можна віднести до категорії «брудні».

Варто зазначити, що в інших водоймах Східної балки концентрація нафтопродуктів була значно нижчою — $0,063 \text{ мг/дм}^3$ та $0,055 \text{ мг/дм}^3$ відповідно у ставках Лазневий і Дзеркальний. Однак, і тут вона перевищувала значення, регламентовані ЄС для водойм I класу якості вод [31]. За екологічною класифікацією [7] воду зазначених водойм можна вважати «слабко забрудненою».

Відомо, що ставки дендропарку живляться за рахунок підземних джерел. В результаті латеральної міграції розчинених нафтопродуктів відбувається розширення площі, охопленої забрудненням. Джерелом забруднення геологічного середовища парку нафтопродуктами, звідки відбувається їхня міграція у підземні і поверхневі води, є бази зберігання паливно-мастильних матеріалів, цехи з ремонту літаків, ремонту і випробування авіадвигунів колишніх військових частин [4].

Ймовірно, що висока концентрація нафтопродуктів у воді ставків Східної балки парку є наслідком тривалої міграції нафтових вуглеводнів з потоком ґрунтових вод у поверхневі води ставків, що можуть бути розташовані досить віддалено від джерела забруднення. Висловлено припущення, що міграція забруднювальних речовин з місця живлення ґрунто-

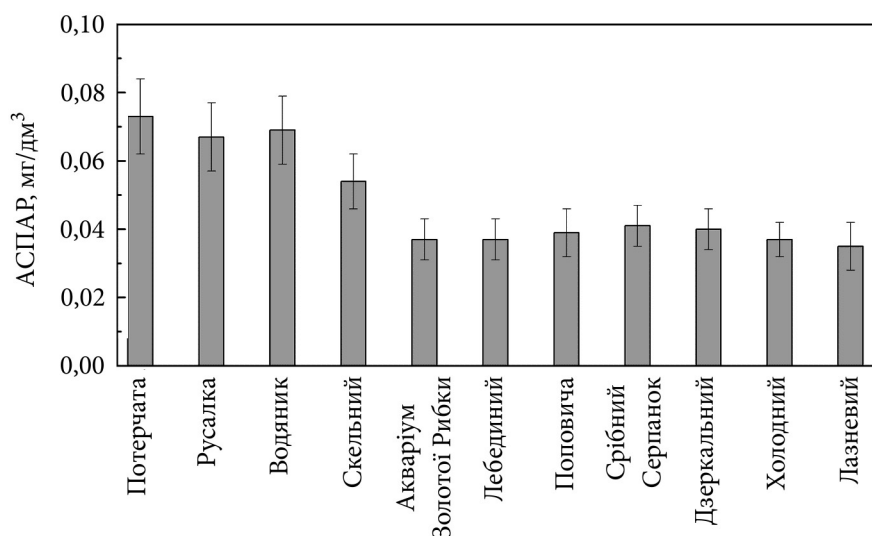


Рис. 6. Концентрація аніонних синтетичних поверхнево-активних речовин (АСПАР) у воді ставків дендропарку «Олександрія» ($M \pm m$; $n = 3-4$)

вих вод до місця їх дренажування у водойми відбувається в зонах підвищеної провідності, утворених прошарками флювіогляціального піску [16].

Аніонні синтетичні поверхнево-активні речовини. Визначення концентрації аніонних СПАР у водоймах Середньої і Східної балки показало, що її величина знаходилася в межах 0,037—0,041 та 0,035—0,040 мг/дм³ відповідно (рис. 6). Згідно з екологічною класифікацією якості поверхневих вод [7] воду зазначених ставків можна віднести до категорії «слабко забруднені».

Вміст аніонних СПАР досягав найвищих значень (0,054—0,073 мг/дм³) у воді ставків Західної балки парку, яка за цим показником відповідала категорії «помірно забруднені» [7]. Це свідчить про потрапляння комунально-побутових стоків у водойми природно-заповідного фонду, що в перспективі може погіршити їхній еколого-токсикологічний стан. Зокрема, є відомості, що навіть низькі концентрації ПАР призводили до ультраструктурних перебудов ядер клітин планктонних водоростей *Chlamydomonas reinhardtii* Dang., глибина яких посилювалася із підвищенням концентрації ПАР, причому часто ці перебудови були несумісні з нормальним функціонуванням ядер [9].

Дослідження впливу детергенту на мікродорості *Chroomonas salina* (Wils.) Butch. (Cryptophyta) показало, що більш низькі концентрації СПАР (0,05, 0,1 і 1,0 мг/дм³) мають евтрофуючий ефект і можуть викликати значне зростання чисельності водоростей, тому становлять екологічну небезпеку. За концентрації 10,0 мг/дм³ відзначено інгібування росту клітин, блокування синтезу хлорофілу *a* та загибель більшої частини клітинної популяції [10].

Отже, надходження важких металів, нафтопродуктів та аніонних СПАР у природні водойми як у низьких, так і у високих концентраціях, може спричиняти вплив на гідробіоти, призводити до змін у функціонуванні водних екосистем та до порушення їхньої екологічної рівноваги. Для попередження акумуляції та токсичного впливу цих речовин на життєдіяльність різних видів гідробіотів, передачі їх по харчовим ланцюгам, в т.ч. і до людини, необхідно вчасно виявляти і ліквідувати джерела їхнього надходження у природні водойми.

Висновки

В результаті проведених досліджень виявлено підвищений рівень забруднення ставків Західної Балки дендропарку «Олександрія» такими важкими металами як Cu, Zn, Mn, Pb, концентрації яких у воді перевищують регламентовані ЄС для водойм I та II класу якості вод (сприятливі для функціонування водних екосистем) [31], а згідно методики [7] вода досліджуваних водойм Західної балки належить до категорій «помірно забруднені» (за Zn і Mn) і «забруднені» (за Cu). Порівняння нинішніх рівнів забруднення цих водойм важкими металами з даними попередніх років свідчить про їхнє хронічне забруднення, яке очевидно, посилилось, внаслідок військових дій російської федерації на території України.

Аналіз стандартів якості поверхневих вод та результатів досліджень щодо наслідків впливу важких металів на різні види гідробіотів дає можливість зробити висновок, що виявлені концентрації Cu, Zn, Mn, Fe, Pb у воді водойм Західної балки дендропарку «Олександрія» можуть чинити негативний вплив на життєдіяльність гідробіотів (водних рослин, риб тощо) і погіршувати стан водної екосистеми в цілому. Особливо небезпечними є здатність важких металів до акумуляції в гідробіонтах, зокрема, у водних рослинах та рибах, та неможливість їхньої біодеградації у живих організмах, що зумовлює їх міграцію від первинних ланок трофічних ланцюгів (водорості, вищі водні рослини) до наступних, включаючи і людину.

Встановлено, що серед досліджуваних водойм дендропарку «Олександрія» найвищим вмістом нафтопродуктів характеризувалися ставки Східної балки. Виявлені концентрації нафтопродуктів можуть бути токсичними для гідробіотів та спричиняти негативний вплив на водну екосистему в цілому. Одержані дані та аналіз літературних відомостей щодо вмісту нафтопродуктів у досліджуваних водоймах свідчить про їхнє хронічне забруднення.

У воді ставків Західної балки парку також виявлено підвищені концентрації аніонних СПАР, що є свідченням потрапляння комунально-побутових стоків у водойми дендропарку «Олександрія».

Таким чином, виникає необхідність розробки і впровадження заходів з метою попередження надходження важких металів, нафтопродуктів і СПАР у водні екосистеми природно-заповідного фонду та мінімізації їхнього токсичного впливу на гідробіоти. Вони можуть включати в себе регулярні спостереження за концентрацією цих речовин у воді та їхнім

вмістом у донних відкладах, а також визначення рівнів їх накопичення у гідробіонтах різних трофічних рівнів. Слід також вчасно виявляти і ліквідувати антропогенні джерела надходження забруднювальних речовин у природні водойми. Необхідно проводити інформування громадськості про шкідливий вплив токсикантів різної хімічної природи (важких металів, нафтопродуктів, СПАР) на навколишнє середовище з метою мінімізації їхнього потрапляння у водойми з побутовими відходами. Також важливим є сприяння науковим дослідженням, які здатні розкрити механізми токсичного впливу цих речовин на живі організми, шляхи їх передачі по трофічним ланцюгам та оцінити наслідки впливу на навколишнє середовище в цілому і водні екосистеми зокрема.

Список використаної літератури

1. Збитки доквіллю через війну перевищили 1,7 трильйона — Держекоінспекція <https://www.epravda.com.ua/news/2023/01/25/696362/>
2. 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#Text>
3. Клоченко П.Д., Горбунова З.Н., Шевченко Т.Ф., Вітовецька Т.В. Неорганічні та органічні речовини у водоймах дендрологічного парку «Олександрія» (м. Біла Церква). *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2020. № 1 (56). С. 48—55.
4. Кулик С.М. Динаміка розповсюдження техногенного забруднення у біокосних системах території державного дендропарку «Олександрія». *Пошукова та екологічна геохімія*. 2003. № 2—3. С. 58—61.
5. Методи гідроекологічних досліджень поверхневих вод / О.М. Арсан, О.А. Давидов, Т.М. Дьяченко та ін. / За ред. В. Д. Романенка. Київ : Логос, 2006. 408 с.
6. Методика выполнения измерений массовой концентрации нефтепродуктов в пробах питьевых, природных и сточных вод флуориметрическим методом на анализаторе жидкости «Флюорат-02». МВВ 99-12-98. 1998. 19 с.
7. Методика екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями / В.Д. Романенко, В.М. Жукинський, О.П. Оксіюк та ін. Київ : Символ-Т. 1998. 28 с.
8. Плескач А.Я. Забруднення водойм дендропарку «Олександрія» та його вплив на стан рослинності. *Інтродукція рослин*. 2004. № 2. С. 80—87.
9. Попова А.Ф., Иваненко Г.Ф. Эффекты различных концентраций неионогенных ПАВ на ультраструктуру клеток *Chlamydomonas reinhardtii* Dang. *Доп. НАН України*. 2010. № 8. С. 173—178.
10. Реунова Ю.А., Айздайчер Н.А. Влияние детергента на содержание хлорофилла *a* и динамику численности микроводоросли *Chroomonas salina* (Wils.) Butch. (Стуртоphyta). *Альгология*. 2014. Т. 14. № 1. С. 32—38.
11. ЦККП «Спектрометричний центр елементного аналізу (СЦЕА)» при Національному ботанічному саду ім. М. М. Гришка НАН України. http://www.nbg.kiev.ua/ru/scientific_activity/scea.
12. Alloway B.J. Heavy metals and metalloids as micronutrients for plants and animals. *Heavy Metals in Soils*. 2012. P. 195—209. <https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-94-007-4470-7>.
13. Balali-Mood M., Naseri K., Tahergorabi Z. et al. Toxic mechanisms of five heavy metals: mercury, lead, chromium, cadmium and arsenic. *Front. Pharmacol.* 2021. <https://doi.org/10.3389/fphar.2021.643972>
14. Barron M.G. Photoenhanced toxicity of petroleum to aquatic invertebrates and fish. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 2017. Vol. 73, N 1. P. 40—46.

15. Beyer J., Trannum H.C., Bakke T. et al. Environmental effects of the Deepwater Horizon oil spill: a review. *Mar. Pollut. Bull.* 2016. Vol. 110, N 1. P. 28—51.
16. Bricks A.I., Gavryliuk R.B., Negoda Y.O. Hazard of petrochemical pollution of ponds of the «Olexandria» arboretum (Bila Tserkva). *J. Geology, Geography and Geoecology*. 2020. N 29 (2). P. 243—251.
17. Dalzell D.J.B., Macfarlane N. The toxicity of iron to brown trout and effects on the gills: a comparison of two grades of iron sulphate. *J. Fish Biology*. 2005. Vol. 55, N 2. P. 301—315.
18. Delahaut V., Rašković B., Salvado M.S. et al. Toxicity and bioaccumulation of Cadmium, Copper and Zinc in a direct comparison at equitoxic concentrations in common carp (*Cyprinus carpio*) juveniles. *PLoS One*. 2020. Vol. 15, N 4. <https://journals.plos.org/plosone/article/file?type=printable&id=10.1371/journal.pone.0220485>
19. EU. Directive 2013/39/EU of the European Parliament and of the Council. Official Journal of the European Union. 2013; L 266:1—17. <https://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2013:226:0001:0017:en:PDF>
20. Garai P., Banerjee P., Mondal P. and Saha N.C. Effect of Heavy Metals on Fishes: Toxicity and Bioaccumulation *J. Clin. Toxicol.* 2021. Vol. 11. P. 1—10. <https://www.longdom.org/open-access/effect-of-heavy-metals-on-fishes-toxicity-and-bioaccumulation-82260.html>
21. Harford A.J., Mooney T.J., Trenfield M.A., van Dam R.A. Manganese toxicity to tropical freshwater species in low hardness water. *Environ. Toxicol. Chem.* 2015. Vol. 34, N 12. P. 2856—2863.
22. Klochenko P.D., Shevchenko T.F., Lilitskaya G.G. et al. Phytoplankton of water bodies differing in the degree of anthropogenic contamination. *Hydrobiol. J.* 2020. Vol. 56, N 3. P. 13—29.
23. Klochenko P.D., Shevchenko T.F., Nezbryskaya I.N. et al. Phytoplankton production and decomposition characteristics in water bodies differing in the degree of their contamination by inorganic compounds of nitrogen and phosphorus. *Ibid.* 2019. Vol. 55, N 3. P. 29—43.
24. Könnicker G., Regelman J., Belanger S. et al. Environmental properties and aquatic hazard assessment of anionic surfactants: physico-chemical, environmental fate and ecotoxicity properties. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 2011. Vol. 74, N 6. P. 1445—1460.
25. Lechuga M., Fernández-Serrano M., Jurado E. et al. Acute toxicity of anionic and non-ionic surfactants to aquatic organisms. *Ibid.* 2016. Vol. 125. P. 1—8.
26. Lewis M., Rachel Pryor R. Toxicities of oils, dispersants and dispersed oilsto algae and aquatic plants: review and database value to resource sustainability. *Environ Pollut.* 2013. Vol. 180, P. 345—367.
27. Linnik P.N. Heavy metals in surface waters of Ukraine: their content and forms of migration. *Hydrobiol. J.* 2000. Vol. 36, N 3. P. 31—54.
28. Md Shahjahan, Taslima K., Rahman M.S. et al. Effects of heavy metals on fish physiology — a review. *Chemosphere*. 2022. Vol. 300. <https://www.sciencedirect.com/journal/chemosphere/vol/300/suppl/C>.
29. Michalke B., Nischwitz V. Chapter 22. Speciation and element-specific detection. *Liquid Chromatography*. 2013. P. 633—649. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128146156000035>.
30. Nawab J., Din Z.U., Ahmad R. Occurrence, distribution, and pollution indices of potentially toxic elements within the bed sediments of the riverine system in Pakistan. *Environ. Sci. and Pollut. Res.* 2021. Vol. 28. P. 54986—55002.
31. OECD. Surface water quality regulation in Moldova: policy aspects of the reform. Paris: OECD Publishing; 2007. <https://www.oecd.org/env/outreach/38205453.pdf>, <https://www.oecd.org/env/outreach/41833059.pdf>
32. Pasichna O.O. Content of pigments in *Cladophora glomerata* under the influence of copper (II) and manganese (II) ions in the aquatic environment. *Hydrobiol. J.* 2017. Vol. 53, N 1. P. 60—68.

33. Pasichna O.O., Gorbatiuk L.O., Platonov M.O. et al. Peculiarities of the influence of copper (II) and lead (II) on the content of pigments in *Ceratophyllum demersum* L. *Ibid.* 2022. Vol. 58, N 6. P. 46—55.
34. Pasichna Ye.A. Toxicity of copper for hydrophytes: accumulation, effects on photosynthesis, respiration and pigment system (a review). *Ibid.* 2002. Vol. 38, N 4. P. 103—118.
35. Pasichnaya Ye.A., Arsan O.M., Godlevskaya O.A. Respiratory metabolism of the higher aquatic macrophytes under the effect of manganese ions (II) of the aquatic environment. *Ibid.* 2009. Vol. 45, N 6. P. 97—109.
36. Ramadass K., Megharaj M., Venkateswarlu K., Naidu R. Toxicity of diesel water accommodated fraction toward microalgae, *Pseudokirchneriella subcapitata* and *Chlorella* sp. MM3. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 2017. Vol. 142. P. 538—543.
37. Rosen M.J., Li F., Morrall S.W., Versteeg D.J. The relationship between the interfacial properties of surfactants and their toxicity to aquatic organisms. *Environ. Sci. Technol.* 2001. Vol. 35, N 5. P. 954—959.
38. Shevchenko T.F., Klochenko P.D., Bilous O.P. Response of epiphytic algae to heavy pollution of water bodies. *Water Environ. Res.* 2018. Vol. 90, N 8. P. 706—718.
39. Shevchenko T., Klochenko P., Nezbyrta I. Response of phytoplankton to heavy pollution of water bodies. *Oceanol. Hydrobiol. St.* 2020. Vol. 49, N 3. P. 267—280.
40. Singh A., Sharma A., Verma R.K. et al. Heavy metal contamination of water and their toxic effect on living organisms. 2022. DOI: 10.5772/intechopen.105075. <https://www.intechopen.com/chapters/82246>.
41. Singh A.K., Gaur J.P. Effects of petroleum oils and their paraffinic, asphaltic, and aromatic fractions on photosynthesis and respiration of microalgae. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 1990. Vol. 19, Iss. 1. P. 8—16.
42. Vieira M.C., Torronteras R., Córdoba F., Canalejo A. Acute toxicity of manganese in goldfish *Carassius auratus* is associated with oxidative stress and organ specific antioxidant responses. *Ecotoxicol. and Environ. Saf.* 2011. Vol. 78. P. 212—217.
43. Woody C.A., O'Neal S.L. Effects of Copper on fish and aquatic resources. Anchorage, Alaska, 2012. 26 P. <https://www.arlis.org/docs/vol1/Pebble/1097573147.pdf>
44. Zang W., Lin Ye, Xuancheng Xu, Shuchun G. Toxic effects of zinc on four species of freshwater fish. *Chinese J. Oceanology and Limnology.* 1991. Vol. 9, Iss. 1. P. 64—70.
45. Zhang H., Zhou Y., Kong Q. et al. Toxicity of naphthenic acids on the chlorophyll fluorescence parameters and antioxidant enzyme activity of *terosigma akashiwo*. *Antioxidants (Basel)*. 2021. Vol. 10, Iss.10. P. 1582.

Надійшла 8.06.2023

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

L.O. Gorbatiuk, PhD (Tech.), Senior Researcher, Senior Researcher,
Institute of Hydrobiology of the NAS of Ukraine,
Volodymyr Ivasyuk Avenue, 12, Kyiv, 04210, Ukraine
e-mail: ludmila.horbatiuk@gmail.com

M.O. Platonov, PhD (Biol.), Researcher,
Institute of Hydrobiology of the NAS of Ukraine,
Volodymyr Ivasyuk Avenue, 12, Kyiv, 04210, Ukraine
e-mail: n.platonov73@gmail.com

S.P. Burmistrenko, Leading Engineer,
Institute of Hydrobiology of the NAS of Ukraine,
Volodymyr Ivasyuk Avenue, 12, Kyiv, 04210, Ukraine
e-mail: ecotoxhydrobiol@gmail.com

I.M. Nezbryska, PhD (Biol.), Senior Researcher,
Institute of Hydrobiology of the NAS of Ukraine,
Volodymyr Ivasyuk Avenue, 12, Kyiv, 04210, Ukraine
e-mail: inna_imn@ukr.net

O.O. Godlevska, PhD (Phys. and Math.), Assoc. Prof.,
National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine,
Heroyiv Oborony str.12, Kyiv, 03041, Ukraine,
e-mail: godlevok@gmail.com

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

POLLUTANTS AND THEIR POTENTIAL TOXICITY IN THE PONDS OF THE «OLEKSANDRIYA» DENDROLOGICAL PARK (UKRAINE)

The levels of contamination of the ponds of the «Oleksandriya» Dendrological Park (the town of Bila Tserkva, Ukraine) by heavy metals, petroleum products and anionic synthetic surfactants were investigated in August 2022. In addition, the potential toxicity of these substances for aquatic organisms was assessed. It has been proven that the detected concentrations of some heavy metals (Cu, Zn, Mn, Fe, Pb) in the ponds located in the Western ravine of the «Oleksandriya» Dendrological Park can affect negatively on the life activity of hydrobionts (aquatic plants, fish, etc.). The maximum concentration of petroleum products was found in the water of the Kholodny pond (Eastern ravine of the park), which can cause the toxic effects in hydrobionts. The water of the ponds also contains anionic synthetic surfactants, probably due to the ingress of municipal sewage, which also leads to the worsening of the ecological and toxicological state of the studied water bodies.

Keywords: heavy metals, petroleum products, anionic surfactants, hydrobionts, toxicity, ponds, «Oleksandriya» Dendrological Park.