Е К О Л О Г І Я

УДК 504.4:54.084:591.1(477.54)

Тетяна Ярмак https://orcid.org/0000-0003-0746-4038
Анжела Чаплигіна https://orcid.org/0000-0002-3574-5120
Олександр Винник https://orcid.org/0000-0001-5130-5056

Одержано рукопис: 22.01.2026
Прийнято до друку: 19.02.2026

ОЦІНКА ЗАБРУДНЕННЯ ВОДОЙМ МІСТА ХАРКОВА ВАЖКИМИ МЕТАЛАМИ НА ОСНОВІ АНАЛІЗУ ШКАРАЛУПИ ЯЄЦЬ ЛИСКИ (*FULICA ATRA* L., 1758)

Ярмак Т.Л., Чаплигіна А.Б., Винник О.Ф.
Харківський національний педагогічний університет імені Г. С. Сковороди
tanyayarmak77@gmail.com , iturdus@ukr.net, vinnik7777777@gmail.com
https://doi.org/10.34142/2708-5848.2026.28.1.01

Вперше на прикладі двох урбанізованих водойм м. Харкова, проведено оцінку рівня накопичення шкідливих хімічних речовин (Cd, Pb, Cr, Ni, Cu, Co, Zn, Fe, Mn) у шкаралупі яєць лиски (*Fulica atra* L., 1758) як неінвазивного методу біологічної індикації. Виявлено, що концентрації більшості елементів у шкаралупі яєць значно вищі, ніж їх концентрації у поверхневих водах, що свідчить про інтенсивні процеси біоакумуляції металів в організмах водоплавних птахів фітофагів шляхом трофічного переносу та, про підвищений рівень хімічного забруднення водойм. Проведений аналіз виявив вищий ступінь забрудненості металами озера Новий Лиман порівняно з озером Квітуче, що, ймовірно, обумовлено впливом з боку розміщених поряд різних промислових інфраструктурних об'єктів. Особливо високі концентрації Феруму (Fe), зафіксовані у зразках із озера Новий Лиман, узгоджуються з візуальними спостереженнями змін кольору води, та зумовлені поєднанням перевищення концентрації металу і процесів мікробного окиснення за участю залізоокислювальних бактерій. Зроблено порівняння мінімальних і максимальних діапазонів та варіабельності вмісту важких металів у шкаралупі яєць. Показано, що більшість досліджуваних елементів мають незначну варіабельність, що свідчить про стабільне забруднення водойм. Проведені дослідження підтверджують можливість використання шкаралупи яєць лиски як інформативного неінвазивного біоіндикатора інтегрального стану міських водойм. Методика визначення важких металів відповідає сучасним біоетичним вимогам і може бути рекомендована для екологічного моніторингу урбанізованих водно-болотних угідь. Застосування біоіндикаторних методів із використанням широко розповсюджених водоплавних птахів, дозволяє своєчасно виявляти хімічне забруднення водних екосистем і є важливою складовою комплексної оцінки екологічного стану урбоекосистем та розробки заходів з охорони біорізноманіття.
Ключові слова: *біоіндикатор, залізоокислювальні бактерії, важкі метали, водоплавні птахи, шкаралупа яєць.*

Водно-болотні угіддя одні з найбільш вразливих до антропогенної трансформації біотопів, деградація яких несе глобальні екологічні наслідки [7, 13, 22]. Важливим елементом у підтриманні гомеостазу урбанізованого середовища існування є міські водойми, стан яких значною мірою детермінований людським фактором. Ефективним інструментом оцінки якості водойм є моніторинг водоплавних птахів. Їх присутність, видове різноманіття та динаміка чисельності є індикаторами функціонування екосистеми, а різкі зміни в угрупованнях – ранніми сигналами екологічних порушень [2, 5, 20, 23, 25].

В умовах антропогенного і техногенного навантаження відбувається накопичення полютантів, які акумулюються у печінці, м'язовій тканині, пір'ї, а також у репродуктивних органах, що обумовлює їх особливу значущість як біоіндикаторів [10, 16, 17, 19]. Використання водних організмів, їх тканин або яєць є ефективним інструментом для оцінки екологічного стану водойм [6, 26, 27]. Такі дослідження дозволяють з'ясувати причини смертності, захворювань, імунодефіцитних станів та, як наслідок, виникнення епізоотій у екосистемі [1, 8]. Дослідження іспанських вчених Лопес-Переа Дж., Лагуна К., Хіменес-Морено М. та ін. у 2019 р. було спрямоване на перевірку гіпотези щодо підвищеного впливу важких металів на птахів евтрофних водно-болотних угідь, що використовуються для скидання стічних вод. Провівши хімічний аналіз пір'я *Gfllinula hloropus*,

Creative Commons Attribution
NonCommercial 4.0 International

вчені виявили перевищений вміст важких металів, що може вказувати на високий їх вміст у водоймі [18].

Надлишковий вміст хімічних сполук у водних об'єктах розглядається як глобальна екологічна проблема з масштабними наслідками. Особливу увагу привертають Плюмбум (Pb), Меркурій (Hg), Кадмій (Cd), Ніколум (Ni), Купрум (Cu), Кобальт (Co), Ферум (Fe), Цинк (Zn) та Хром (Cr), які накопичуються у воді, донних відкладеннях та організмах, що входять до трофічного ланцюга водоплавних птахів та негативно впливають на фізіологічний стан живих організмів [14].

Інформативним об’єктом для біомоніторингу є яйця, оскільки, по-перше, вони чутливі до акумуляції токсикантів і слугують ланкою передачі забруднювачів, які накопичились у батьківського покоління, наступним; по-друге – це доступний матеріал, збирання якого після вилуплення пташенят, не несе загрози життєздатності птахів і відповідає нормам Закону «Про охорону природи». Аналіз яєчної шкаралупи дозволяє не лише оцінити рівень навколишнього забруднення, але й прогнозувати довгострокову динаміку популяцій, що і зумовило вибір її як оптимального біоіндикатора у даному дослідженні.

Накопичення хімічних елементів у шкаралупі яєць вказує на забрудненість водойм в районах, де птах живиться або розмножується [12; 23]. Аналіз публікацій вітчизняних та зарубіжних учених показав, що такі дослідження для водойм м. Харкова не поводилися.

Мета дослідження – вивчення біоакумуляції важких металів у шкарлупі яєць лиски (*Fulica atra* L., 1758) та оцінка ефективності використання шкаралупи яєць лиски як, неінвазивного біоіндикатора.

МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ

Дослідження проведені у травні-липні 2021 року. Для визначення рівня вмісту важких металів було зібрано шкаралупу яєць лиски із двох водойм міста Харкова, які мають значне антропогенне (техногенне) навантаження: перша – озеро Новий Лиман, яке межує з промислово-інфраструктурними підприємствами, друга – озеро Квітуче, яке належить до рекреаційної зони міста, і розташоване поряд з приватним житловим сектором. На цих водоймах лиски гніздилась, живились і постійно перебували, іноді залишались на зимівлю. Яєчна шкаралупа збиралась після виходу пташенят із яйця, без порушення біоетичних норм.

До важких металів, що нормуються в ґрунтах, воді та повітрі, належать: Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn. До уваги брали також мікроелементи Fe, Mn, які підлягають контролю у питній воді та ґрунтах, проте офіційно їх не класифікують як важкі метали-забруднювачі, хоча вони також небезпечні при перевищенні норми.

Вміст металів визначали методом абсорбційної спектрофотометрії, в лабораторії Національного наукового центру «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О. Н. Соколовського». Концентрований розчин для визначення вмісту хімічних елементів отримували за методикою: 4 г сухої речовини (шкаралупа яєць) подрібнювали у ступці і розчиняли у 10 мл HCl (37%). Утворений розчин доводили до об’єму 50 мл дистильованою водою, пропускали через фільтрувальний папір. Результати досліджень металів у концентрованому розчині виражали у мг/л розчину. Кількість проб: n=5 – оз. Квітуче, n=7 – оз. Новий Лиман.

У статті подано гранично допустимі концентрації (ГДК) важких металів у водоймах України (Табл. 1, 2). Ці нормативи регламентуються державними стандартами та санітарними нормами України (НАКАЗ від 02.05.2022 № 721 «Про затвердження Гігієнічних нормативів якості води водних об’єктів для задоволення питних, господарсько-побутових та інших потреб населення», нормативи ДСанПіН 4630-88). Порівняння з ГДК води має індикативний характер і використовується для оцінки потенційного рівня антропогенного навантаження.

РЕЗУЛЬТАТИ

Вміст важких металів визначався у шкаралупі яєць лиски, які були зібрані на двох водоймах – оз. Квітуче та оз. Новий Лиман (табл. 1, 2). Як видно з даних таблиць 1 і 2, концентрації більшості хімічних елементів у шкаралупі яєць значно вищі, аніж ГДК для води на обох водоймах (за винятком Ni на озері Новий Лиман), що може свідчити про високий вміст досліджених елементів у воді. Ступінь забрудненості важкими металами озера Новий Лиман значно вищий, у порівнянні з показниками озера Квітуче, що свідчить про значний техногенний вплив і потребує контролю якості води у водоймі та найближчих місцях забору води для побутового використання. Нижче, на рис. 1 графічно показано різницю показників вмісту важких металів у шкаралупі яєць лиски на досліджуваних водоймах.

Таблиця 1.

Вміст важких металів у шкаралупі яєць лиски (оз. Квітуче)

Елемент	Середнє значення, мг/л	Мінімальне значення, мг/л	Максимальне значення, мг/л	Стандартне відхилення	Дисперсія	Коеф. варіації (%)	ГДК у воді, мг/л
Cd	0.025	0.019	0.031	0.005	0.00002	18.36	0.001
Co	0.023	0.017	0.028	0.004	0.00002	19.47	0.010
Cr	0.072	0.068	0.077	0.003	0.00001	4.74	0.010
Cu	0.245	0.211	0.312	0.039	0.0015	15.83	0.001
Fe	0.875	0.797	0.917	0.046	0.0021	5.26	0.300
Mn	0.406	0.386	0.423	0.015	0.0002	3.73	0.100
Ni	0.128	0.100	0.152	0.020	0.0004	15.22	0.010
Pb	0.133	0.113	0.144	0.012	0.0001	8.70	0.010
Zn	0.352	0.322	0.382	0.025	0.0006	7.00	0.010

Таблиця 2.

Вміст важких металів у шкаралупі яєць лиски (оз. Новий Лиман)

Елемент	Середнє значення, мг/л	Мінімальне значення, мг/л	Максимальне значення, мг/л	Стандартне відхилення	Дисперсія	Коеф. варіації (%)	ГДК у воді, мг/л
Cd	0.019	0.015	0.026	0.004	0.0000	18.041	0.001
Co	0.080	0.069	0.092	0.008	0.0001	10.045	0.010
Cr	0.070	0.058	0.082	0.008	0.0001	12.074	0.010
Cu	0.344	0.302	0.402	0.042	0.0017	12.088	0.001
Fe	1.361	1.311	1.431	0.048	0.0023	3.534	0.300
Mn	0.697	0.682	0.714	0.011	0.0001	1.589	0.100
Ni	0.001	0.000	0.003	0.001	0.0000	68.313	0.010
Pb	0.289	0.273	0.312	0.014	0.0002	4.958	0.010
Zn	0.611	0.598	0628	0.011	0.0001	1.737	0.010

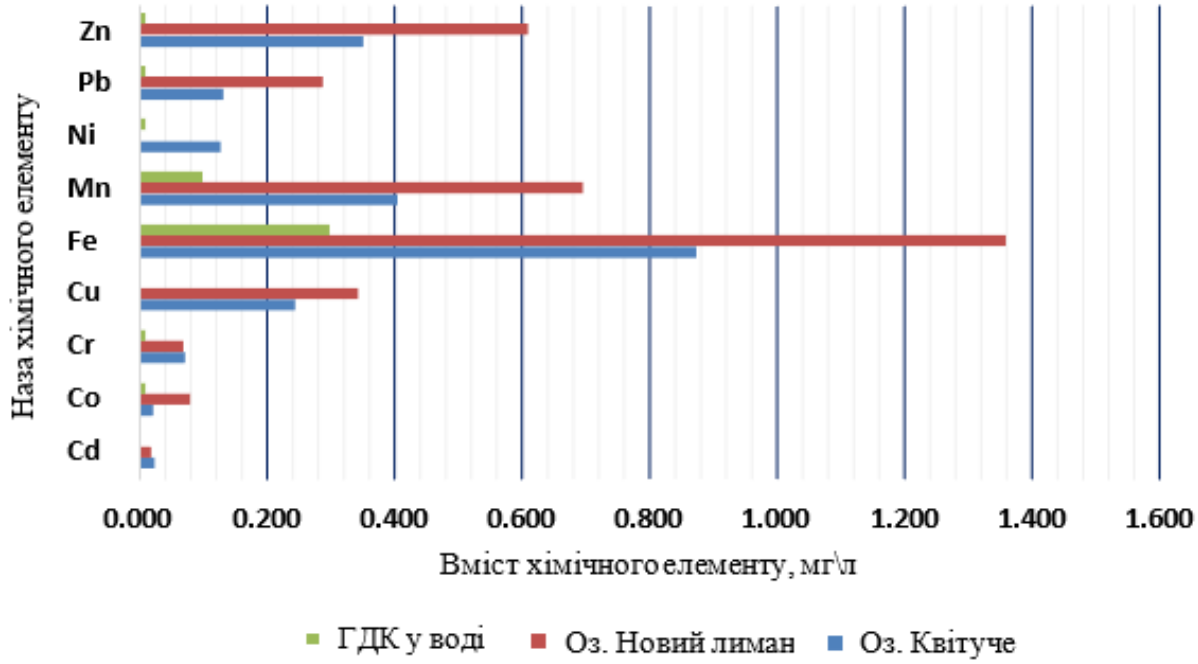


Рис. 1. Показники вмісту металів на водоймах з різним антропогенним впливом, 2021 р.

Порівняльний вміст важких металів (Zn, Pb, Ni, Mn, Fe, Cu, Cr, Co, Cd) у воді озер Новий лиман та Квітуче у зіставленні з гранично допустимими концентраціями (ГДК) може вказувати на підвищений вміст Феруму та Манґану, причому в озері Новий Лиман концентрація Fe суттєво перевищує відповідний показник в озері Квітуче. Вміст Цинку та Купруму в шкарлупі яєць з обох озер є, порівняно, високим та перевищує значення ГДК у воді. Концентрації Плюмбуму, Ніколуму, Хрому, Кобальту та Кадмію залишаються низькими та наближеними до фонових значень. Загалом, озеро Новий Лиман характеризується вищим рівнем забруднення порівняно з озером Квітучим, очевидно, завдяки близькому розташуванню до промислово-інфраструктурних об'єктів.

При порівнянні мінімальних та максимальних діапазонів та варіабельності ми визначили, що найбільш стабільні показники вмісту досліджуваних елементів (низький коефіцієнт варіації <5-8%) мали такі елементи:

- на *озері Квітуче:* Cr (4.74%), Fe (5.26%), Mn (3.73%), Pb (8.70%), Zn (7.00%);
- на *озері Новий Лиман:* Fe (3.53%), Mn (1.59%), Pb (4.96%), Zn (1.74%).

Низький коефіцієнт варіації – це ознака стабільного та однорідного джерела забруднення, отже водойми отримують метали з постійного, рівномірно розподіленого джерела (наприклад, стік з сільгоспугідь, фоновий геологічний склад, однорідні ґрунти). Вищі концентрації Mn, Zn, Fe та Pb, але нижча варіація в оз. Новий Лиман свідчить про рівномірне та інтенсивне забруднення цими металами, яке, ймовірно, має дифузний характер (наприклад, зрошувальні води, атмосферний перенос, рівномірний стік). Також низький коефіцієнт варіації може свідчити про сильну біологічну регуляцію, коли обмін і виведення життєво необхідних мікроелементів (наприклад, Zn, Mn, Fe) контролюється організмом птаха, що призводить до стабільних концентрацій у яйцях незалежно від коливань у довкіллі.

Найбільш варіабельні показники (коефіцієнт варіації >10%) показали наступні елементи:

- на *озері Квітуче:* Co (19.47%), Cd (18.36%);
- на *озері Новий Лиман:* Ni (68.31% – надзвичайно висока варіація), Co (10.05%), Cr (12.07%).

Високий коефіцієнт варіації свідчить про нестабільне, локальне або періодичне

джерело забруднення (наприклад: невеликий стік, аварійні скиди, сезонні стоки) та вказує на те, що процес накопичення не контролюється організмом (організм не має ефективних механізмів для регулювання вмісту цих металів, і, наприклад, Cd, Ni для багатьох тварин є просто токсикантами). Надзвичайно висока варіація Ni (68.31%) у шкаралупі яєць з озера Новий Лиман може свідчити про локальне та потужне джерело Ніколуму (наприклад, конкретна труба, місце відходів), аварійне або одноразове надходження забруднення протягом періоду формування яєць у частини птахів (наприклад, на одній і тій же водоймі частина птахів живиться поряд із місцем стоку, у «гарячій точці», інша – на протилежній стороні водойми з меншою концентрацією забруднення).

Висока варіація Cd та Co у шкаралупі яєць з обох озер вказує на те, що джерела цих металів нестабільні або птахи контактують з ними нерівномірно.

ОБГОВОРЕННЯ

Підвищення рівня забруднення середовища існування важкими металами сприяє їх акумуляції в компонентах довкілля та подальшому надходженню до організму тварин, зокрема в яйця птахів, що є інформативним показником стану локальних екосистем [21, 15].

У зразках шкаралупи яєць з двох водойм (озера Новий лиман і Квітуче) виявлено підвищений вміст важких металів, що свідчить про ступінь забруднення водойм, незалежно від рівня антропогенного впливу. Осілість лиски зумовлює локальний характер накопичення металів у шкаралупі яєць, що узгоджується з даними для *Gallinula chloropus*, у якої максимальні концентрації металів зафіксовано у водоймах із техногенним навантаженням [18].

У шкаралупи яєць з обох водойм виявлено перевищення вмісту Феруму. У зразках з озера Новий Лиман середнє значення вмісту елементу становило 1.36, при ГДК у воді 0.3 мг/л. Виявлений нами перевищений вміст Феруму, візуально підтверджений рудувато-червоним кольором води (рис. 2) на озері Новий Лиман 08.07.2021 року.



Рис. 2. Осад $Fe(OH)_3$ у воді в озері Новий Лиман (08.07.2021 р.).

Таке забарвлення води може бути пов'язане з активністю залізоокислювальних бактерій (*Leptothrix* і *Gallionella*) при підвищеній концентрація Феруму у воді. Сприятливими факторами для їх розвитку стали низька концентрація кисню (анаеробіоз, викликаний надлишком органіки), підвищена температура та застійний характер водойми, що інтенсифікує метаболізм мікроорганізмів [3, 11]. У результаті їхньої діяльності Fe^{2+} окислюється у Fe^{3+} та, внаслідок гідролізу, перетворюється на нерозчинний $Fe(OH)_3$, що осідає у вигляді бурого осаду. Згодом ми провели лабораторне дослідження, яке підтвердило підвищене накопичення Феруму у шкаралупі яєць лиски, відібраних з цієї водойми в 2021 році, що

свідчить про масштабність мікробного окиснення та доступність металу в ланцюзі живлення.

Достовірне джерело надходження Феруму не встановлено. Ми вважаємо, що причиною потрапляння у воду хімічних речовин може бути близьке розташування Безлюдівських очисних споруд.

Манґан вважається необхідним для функціонування низки ферментів і білкових комплексів у живих організмах. Його сполуки характеризуються незначною токсичністю, однак за умов тривалого надходження надлишкові концентрації Mn можуть призводити до порушень репродуктивної функції. У вищих тварин Манґан переважно акумулюється в кістковій тканині, тоді як менші його кількості відкладаються в м'яких тканинах, зокрема в печінці та нирках [23]. Виявлений у даному дослідженні підвищений вміст Манґану в шкаралупі яєць лиски, достовірно вище у зразках з озера Новий Лиман, може свідчити про тривале надходження цього елементу в організм птахів і відображати специфіку локального гідрохімічного режиму досліджуваної водойми.

Цинк (Zn) надходить в організм птахів переважно з кормом та під час дихання. У подальшому він акумулюється в кальцифікованих структурах, зокрема в кістках і шкаралупі яєць, що зумовлює їх високу інформативність для біомоніторингу [4, 19]. При дослідженні вмісту Zn у шкаралупі яєць лиски виявлено підвищеним на обох водоймах, особливо високими були показники у зразках з оз. Новий Лиман. Все це узгоджується з літературними даними про інтенсивну акумуляцію Цинку в яйцях птахів, зокрема на техногенно трансформованих територіях [16].

Відомо, що Cu інтенсивно акумулюється у внутрішніх органах, зокрема в серці, печінці та нирках [19]. Виявлення Купруму у шкаралупі яєць лиски в даному дослідженні свідчить про її надходження в організм птахів з локального середовища та підтверджує здатність кальцифікованих структур відображати рівень доступності цього елемента у водоймах з антропогенним навантаженням.

Плюмбум (Pb) характеризується складною кінетикою в організмі птахів: після поглинання він тимчасово циркулює в крові, накопичується в печінці та нирках, а у кістковій тканині може зберігатися протягом тривалого часу [9]. Виявлений у даному дослідженні вміст Pb у шкаралупі яєць лиски, навіть за відносно нижчих концентрацій порівняно з іншими елементами, узгоджується з літературними даними про його збереження в міських екосистемах і передачу через трофічний ланцюг, що підтверджено для урбанізованих популяцій представників птахів дендрофілів *Turdus merula* [24].

На відміну від описаних вище елементів, концентрації Ніколу (Ni), Кобальту (Co), Кадмію (Cd) та Хрому (Cr) у шкаралупі яєць лиски були відносно нижчими, що можливо вказує на обмежену біодоступність цих металів у досліджуваних водоймах, або краще їх виведення з організму.

Забруднення довкілля стійкими хімічними сполуками, зокрема важкими металами, є глобальною екологічною проблемою. Висока токсичність та здатність до біоакумуляції роблять їх серйозною загрозою для живих організмів на всіх трофічних рівнях, порушуючи функціонування цілих екосистем. Через свою персистентність ці речовини довго зберігаються в навколишньому середовищі, спричиняючи довгострокові та часто незворотні наслідки. У зв'язку з цим пріоритетними заходами є запровадження екологічно безпечних технологій для зменшення шкідливих викидів та організація систематичного моніторингу рівня забруднення, що є основою для превентивного збереження здоров'я екосистем.

Отримані в даному дослідженні результати підтверджують ефективність використання лиски як чутливого біоіндикатора хімічного забруднення, зокрема важкими металами. Проведені лабораторні аналізи шкаралупи яєць демонструють її придатність для неінвазивного оцінювання стану водойм з інтенсивним антропогенним навантаженням, що відповідає сучасним біоетичним вимогам. Вагомими перевагами лиски, як модельного об'єкта, є її поширеність, висока репродуктивна успішність та екологічна пластичність.

Моніторинг із застосуванням біоіндикаторних методів, зокрема аналізом яєчної шкаралупи, є важливим інструментом для своєчасної діагностики забруднення та розробки адресних заходів щодо збереження біорізноманіття урбоекосистем, а вивчення стану міських популяцій водоплавних птахів є актуальним комплексним завданням.

ПІДСУМОК

Вперше для урбанізованих водойм м. Харкова проведено оцінку рівня накопичення важких металів у шкаралупі яєць лиски. Концентрації більшості досліджуваних елементів у біологічному матеріалі свідчать про підвищений рівень хімічного забруднення водойм та інтенсивні процеси біоакумуляції в урбоекосистемах.

Порівняльний аналіз вмісту шкідливих речовин у шкаралупі яєць показав вищий ступінь забрудненості озера Новий Лиман порівняно з озером Квітучим, що, ймовірно, зумовлено впливом різного рівня техногенного оточення цих водойм. Підвищений вміст Феруму в зразках із цієї водойми узгоджується з візуальними ознаками трансформації гідрохімічного режиму та може бути пов'язаний із поєднанням техногенного надходження елементу і мікробіологічних процесів його окиснення.

Отримані результати підтверджують ефективність використання шкаралупи яєць лиски як інформативного, неінвазивного біоіндикатора стану міських водойм і доцільність застосування методів біологічної індикації для екологічного моніторингу та оцінки антропогенного впливу на водно-болотні угіддя урбанізованих територій.

REFERENCES

1. Ayuti, S. R., Khairullah, A. R., Lamid, M., Al-Arif, M. A., Warsito, S. H., Silaen, O. S. M., Moses, I. B., Hermawan, I. P., Yanestria, S. M., Delima, M., Ferasyi, T. R., & Aryaloka, S. (2024). Avian influenza in birds: Insights from a comprehensive review. *Veterinary world*, *17*(11), 2544–2555. https://doi.org/10.14202/vetworld.2024.2544-2555
2. Banik, M. V., Atemasov, A. A., Honcharov, H. L., Saidakhmedova, N. B., Nadtochii, H. S., & Biatov, A. P. (2013). Kliuchovi vodno-bolotni uhiddia Kharkivskoi oblasti: suchasnyi stan ta vidpovidnist kryteriiam Ramsarskoi uhody. Zapovidna sprava v Ukraini, (19), 1.
3. Chan, C. S., Fakra, S. C., Emerson, D., Fleming, E. J., & Edwards, K. J. (2011). Lithotrophic iron-oxidizing bacteria produce organic stalks to control mineral growth: implications for biosignature formation. *The ISME journal*, *5*(4), 717-727. https://doi.org/10.1038/ismej.2010.173
4. Chaplygina, A.B., Yuzyk, D.I. (2016). The Analysis of Heavy Metal Concentrations in Eggs of Collared Flycatchers, *Ficedula albicollis* (Passeriformes, Muscicapidae), and Tits, *Parus major*, *Parus caeruleus* (Passeriformes, Paridae), in Different Areas of North-Eastern Ukraine. *Vestnik zoologii,* 50(3). P. 259–266. doi:10.1515/vzoo-2016-0030
5. Chaplyhina, A. B. (2010). Ekoloho-faunistychnyi analiz ornitofauny urbolandshaftiv na prykladi Zhuravlivskoho hidroparku m. Kharkiv. Pryrodnychyi almanakh. Seriia: Biolohichni nauky, (14), 187-199.
6. Didukh Ya. P. Osnovy bioindykatsii. K.: Naukova dumka, 2012. 342 s.
7. EC. (2021). Biodiversity Strategy 2030. Barrier Removal for River Restoration. – Luxembourg : Publications Office of the European Union. 50 p.
8. Fair, J. M., Al-Hmoud, N., Alrwashdeh, M. M., Bartlow, A. W., Balkhamishvili, S., Daraselia, I., ... & Owen, J. (2024). Transboundary determinants of avian zoonotic infectious diseases: challenges for strengthening research capacity and connecting surveillance networks. *Frontiers in Microbiology*, *15*, 1341842.
9. Fisher, I. J., Pain, D. J. & Thomas, V. G. (2006) A review of lead poisoning from ammunition sources in terrestrial birds. *Biological conservation*, 131(3), p. 421-432. doi:10.1016/j.biocon.2006.02.018
10. Hothem, R.L., Crayon, J.J. & Law, M.A. (2006) Effects of contaminants on reproductive success of aquatic birds nesting at Edwards Air Force Base, California. Arch Environ Contam Toxicol, Nov; 51(4):711-9. http://dx.doi. 10.1007/s00244-005-0226-1. Epub 2006 Sep 4. PMID: 16998635.
11. Kappler, A., Pasquero, C., Konhauser, K. O., & Newman, D. K. (2005). Deposition of banded iron formations by anoxygenic phototrophic Fe (II)-oxidizing bacteria. *Geology*, *33*(11), 865-868. https://doi.org/10.1130/G21658.1.
12. Kitowski, I., Jakubas, D., Indykiewicz, P., & Wiącek, D. (2018). Factors affecting element concentrations in eggshells of three sympatrically nesting waterbirds in Northern Poland. *Archives of environmental contamination and*

toxicology, *74*(2), 318-329. https://doi.org/10.1007/s00244-017-0481-y

13. Kovalenko, Yu. O., & Prychepa, M. V. (2021). Vydovyi sklad vodoplavnykh i navkolovodnykh ptakhiv okremykh ozer Kyieva yak indykatory zahalnoho stanu navkolyshnoho seredovyshcha. Ekolohichni nauky. 7 (34). S. 192-199. https://doi.org/10.32846/2306-9716/2021.eco.7-34.32
14. Kravtsiv, R. Y., & Butsiak, H. A. (2008). Sumisnyi vplyv vazhkykh metaliv na orhanizm tvaryn. Naukovyi visnyk Lvivskoho natsionalnoho universytetu veterynarnoi medytsyny ta biotekhnolohii imeni SZ Gzhytskoho, 10(2-4 (37)), 50-56.
15. Liang, J., Liu, J., Yuan, X., Zeng, G., Yuan, Y., Wu, H. & Li F. (2016) A method for heavy metal exposure risk assessment to migratory herbivorous birds and identification of priority pollutants/areas in wetlands. *Environmental Science and Pollution Research*, 23. P. 11806-11813. doi:10.1007/s11356-016-6372-3
16. Litvin, L. M. & Chaplygina, A. B. (2025) Accumulation of heavy metals in bird's eggs in various transformed areas of Poltava region (Ukraine). *Studia Biologica*, 19 (1). C. 181-196. http://dx.doi.org/10.30970/sbi.1901.817
17. Llacuna S., Gorriz, A., Sanpera, C., & Nadal, J. (1995). Metal accumulation in three species of passerine birds (*Emberiza cia*, *Parus major*, and *Turdus merula*) subjected to air pollution from a coal-fired power plant. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 28. P. 298-303. doi:10.1007/BF00213105.
18. López-Perea, J.J., Laguna, C., Jiménez-Moreno, M., Rodríguez Martín-Doimeadios, R.C., Feliu, J., & Mateo, R. (2019) Metals and metalloids in blood and feathers of common moorhens (*Gallinula chloropus*) from wetlands that receive treated wastewater. *Sci Total Environ*, Jan 1; 646:84-92. doi: 10.1016/j.scitotenv.2018.07.265.
19. Mukhtar, H., Chan, C. Y., Lin, Y. P., & Lin, C. M. (2020). Assessing the association and predictability of heavy metals in avian organs, feathers, and bones using crowdsourced samples. Chemosphere, 252. doi:10.1016/j.chemosphere.2020.126583
20. Nadtochii, H. S., Yarmak, T. L., & Chaplyhina, A. B. (2023). Biolohiia rozmnozhennia lysky Fulica atra na vodoimakh m. Kharkiv. Ornitolohichni doslidzhennia v Ukraini: mynule, suchasnist i perspektyvy. Materialy Vseukr. ornitol. konf., Kharkiv, 20–22 zhovt.
21. Orłowski, G., Kamiński, P., Karg, J., Baszyński, J., Szady-Grad, M., Koim-Puchowska, B., & Klawe, J.J. (2015). Variable contribution of functional prey groups in diets reveals inter-and intraspecific differences in faecal concentrations of essential and non-essential elements in three sympatric avian aerial insectivores: a re-assessment of usefulness of bird faeces in metal biomonitoring. *Science of the Total Environment*, 518, 407-416. doi:10.1016/j.scitotenv.2015.02.078
22. Pshenychnyi, C. V., Turchyk, A. V., Martiusheva, O. O., Davydenko, V., Kaminska, N. V., Panchuk, O. S., ... & Debelyi, Ya. Yu. (2009). ZYMOVI OBLIKY PTAKhIV VODNO-BOLOTIaNOHO KOMPLEKSU V KYIeVI TA OKOLYTsIaKh U 2008-2009 RR. Faltsfeinivski chytannia-2009, 21-23 travnia / Zbirnyk naukovykh prats. - Kherson, 2009, S. 308-313.
23. Sarnowski, R., & Kellam, J. S. (2023). Concentrations of Manganese in Tufted Titmouse Feathers near Metal Processing Plants. *Birds*, 4(1), 148-158. doi:10.3390/birds4010012
24. Scheifler, R., Coeurdassier, M., Morilhat, C., Bernard, N., Faivre, B., Flicoteaux, P., & Badot, P.M. (2006). Lead concentrations in feathers and blood of common blackbirds (*Turdus merula*) and in earthworms inhabiting unpolluted and moderately polluted urban areas. *Science of the Total Environment*, 371(1-3), 197-205. doi:10.1016/j.scitotenv.2006.09.011
25. Stankevych-Volosianchuk, O. I., Kurtiak, F. F., Kish, R. Ya., & Pliashechnyk, V. I. (2023). Bioriznomanittia serednoi techii r. Uzh baseinu r. Tysa: suchasnyi stan ta antropohenni vplyvy. Uzhhorod. 132 s.
26. Stankiewicz-Volosianchuk, O. I. (2023) Factors influencing structural characteristics of wetland bird communities in the middle Uzh River flow. *Studia Biologica*, 17 (2). P. 3-16. doi:10.30970/sbi.1702.712
27. Sumudumali, R. G. I., & Jayawardana, J. M. C. K. (2021). A review of biological monitoring of aquatic ecosystems approaches: with special reference to macroinvertebrates and pesticide pollution. *Environmental management*, *67*(2), 263-276.

UDC 504.4:54.084:591.1(477.54)

ASSESSMENT OF HEAVY METAL CONTAMINATION IN WATER BODIES OF THE CITY OF KHARKIV BASED ON ANALYSIS OF EGG SHELLS (*FULICA ATRA* L., 1758)

Yarmak T. L., Chaplygina A. B., Vinnik O. F.

For the first time, using two urban water bodies in Kharkiv as examples, we assessed the level of accumulation of harmful chemicals (Cd, Pb, Cr, Ni, Cu, Co, Zn, Fe, Mn) in the shells of coot eggs (*Fulica atra* L., 1758) as a non-invasive method of bioindication. It was found that the concentrations of most elements in eggshells are significantly higher than their concentrations in surface waters. This indicates intensive processes of metal bioaccumulation in this aquatic bird through trophic transfer and an increased level of chemical pollution of the water bodies. The analysis revealed a higher degree of metal contamination in Lake Novy Lyman compared to Lake Kvituche, which is probably due to the influence of various industrial infrastructure facilities located nearby. Particularly high concentrations of iron (Fe) recorded in samples from Lake Novy Lyman are consistent with visual observations of changes in water color. They are caused by a combination of excessive metal concentrations and microbial oxidation processes involving iron-oxidizing bacteria. We compared the minimum and maximum ranges and variability of heavy metal content in the eggshells. It was shown that most of the studied elements have low variability, which indicates stable pollution of the water bodies. The conducted studies confirm the possibility of using coot eggshells as an informative, non-invasive bioindicator of the integral state of urban water bodies. The method for determining heavy metals meets modern bioethical requirements and can be recommended for environmental monitoring of urbanized wetlands. The use of bioindicator methods involving widespread waterfowl allows for the timely detection of chemical pollution in aquatic ecosystems. It is an important component of a comprehensive assessment of the ecological state of urban ecosystems and the development of biodiversity protection measures.

Keywords: *bioindicator, iron-oxidising bacteria, heavy metals, waterfowl, pollution, eggshell.*