

## ВПЛИВ ТРАНСПОРТНОГО НАВАНТАЖЕННЯ НА АКУМУЛЯЦІЮ МЕТАЛІВ У РОСЛИНАХ НА ТЕРИТОРІЇ М. ЛЬВОВА

О. Поліщук, М. Лесів, Г. Антоняк

Львівський національний університет імені Івана Франка  
вул. Саксаганського, 1, Львів 79005, Україна  
e-mail: alex1994pol@gmail.com

У статті наведено результати досліджень впливу автотранспортного навантаження на акумуляцію металів (Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb і Zn) у гаметофітах мохів (*Brachythecium rutabulum* (Hedw.) Schimp., *Pyloisia polyantha* (Hedw.) Schimp.) і тканинах водяного макрофіта *Lemna minor* L., зібраних в окремих районах м. Львова. Під час роботи вибрано п'ять ділянок: ділянку № 1 (Стрийський парк), яку використовували як контрольну, і ділянки № 2–5, на яких аналізували інтенсивність транспортного руху та відбирали зразки рослин для досліджень. Ділянки № 2 і № 3 вибрано, відповідно, в середній і кінцевій частинах вул. Стрийської, № 4 – поблизу сполучення вул. Личаківська–Пасічна, № 5 – поблизу вул. Хортицької. На ділянках № 1–4 збирали гаметофіти мохів *B. rutabulum* і *P. polyantha*, в яких визначали концентрацію металів; на ділянках № 2 і № 5 обрано стави, в яких досліджували концентрацію металів у воді й у зразках макрофіта *L. minor*. Концентрацію металів визначали за допомогою атомно-абсорбційного спектрометра C-115PK Selmi. За результатами спостережень, інтенсивність транспортного руху на ділянках № 2–4 висока, а на ділянці № 5 – низька. Встановлено, що на ділянках № 2–4 з інтенсивним рухом автотранспорту рівень акумуляції Mn, Pb і Zn у гаметофітах обох видів мохів і Cu у гаметофіті *B. rutabulum* вірогідно більший порівняно з ділянкою у Стрийському парку. У воді ставу, розташованого на ділянці № 2 з високим рівнем автотранспортного навантаження, встановлено вірогідно більшу концентрацію Cr, Cu, Fe, Pb і Zn, а в рослинах *L. minor* із цієї водойми – більший рівень акумуляції Cr, Fe і Zn порівняно зі ставом на ділянці № 5, де рівень транспортного навантаження незначний. Під час досліджень процесу накопичення металів у рослинах *L. minor* найвищі значення коефіцієнта біоакумуляції встановлено для Mn, Fe і Zn. Отримані результати свідчать про біоіндикаційний потенціал мохів *Brachythecium rutabulum* і *Pyloisia polyantha* та макрофіта *Lemna minor* і вказують на перспективність використання цих рослин під час моніторингу забруднення компонентів довкілля металами в урбоєкосистемі м. Львова та інших містах із високим рівнем транспортного навантаження.

*Ключові слова:* мохоподібні, макрофіти, метали, автотранспорт, урбоєкосистеми

Транспорт належить до важливих джерел забруднення навколишнього середовища у глобальному масштабі, причому рівень викидів шкідливих речовин, пов'язаних із транспортним сектором економіки, нині зростає у багатьох країнах світу [12, 28]. Така динаміка супроводжується погіршенням якості довкілля та має негативні наслідки для здоров'я людей і біорізноманіття. Насамперед це стосується промислових міст, для яких характерний високий рівень автотранспортного навантаження [24]. В Україні на автотранспорт припадає в середньому 34 % від загального обсягу викидів різноманітних поллютантів, проте в багатьох областях викиди від автотранспорту переважають над викидами від стаціонарних джерел [5, 12]. Серед забруднювачів, які потрапляють в атмосферу внаслідок функціонування транспортної галузі, важкі метали належать до

найбільш небезпечних [24, 31]. Metали перебувають у повітрі у складі аерозолів і дрібно- та крупнодисперсних частинок і можуть переміщуватися з атмосферними потоками на значну відстань від джерела емісії [20, 31]. Шляхом сухого та вологого осадження метали потрапляють на поверхню ґрунту, рослинний покрив і у водні об'єкти, акумулюються в компонентах наземної та водної біоти. Тому забруднення атмосферного повітря важкими металами супроводжується їхнім накопиченням в інших компонентах урбоєкосистем (ґрунт, об'єкти гідросфери), що несприятливо впливає на наземні та водні біоценози [21].

Використання рослин-біоіндикаторів – важливий метод дослідження екологічного стану довкілля [3, 7, 23]. Відомо, що інтенсивність акумуляції важких металів та деяких органічних ксенобіотиків у тканинах наземних і водяних рослин значною мірою віддзеркалює вміст цих поллютантів в абіотичних компонентах навколишнього середовища [2, 22]. У біоіндикаційних дослідженнях використовують судинні рослини і мохоподібні, які особливо придатні для екологічної оцінки стану атмосфери завдяки поглинанню ними забруднювачів, головним чином, з повітря й атмосферних опадів [3, 9, 23, 27]. Водночас під час аналізу екологічного стану урбоєкосистем біоіндикаційне значення мають водяні рослини. Низку видів водяних макрофітів визнано як біоіндикатори забруднення водойм важкими металами; крім того, поглинаючи метали, макрофіти виконують роль фітореєдматорів водного середовища [1, 17, 18, 30].

До міст, які зазнають значного впливу транспортної галузі, належить м. Львів – один із найбільших індустріальних центрів і важливий транспортний вузол на території заходу України. Упродовж останніх років кількість приватних автомобілів і засобів громадського транспорту на території м. Львова істотно зросла, що призвело до збільшення обсягу викидів шкідливих речовин [11]. Однак зв'язок між рівнем транспортного навантаження й акумуляцією важких металів у наземних і водяних рослинах на території міста не з'ясовано. Тому метою роботи було проаналізувати інтенсивність транспортного руху в окремих районах м. Львова та дослідити вміст металів у гаметофітах мохів *Brachythecium rutabulum* (Hedw.) Schimp. і *Pylaisia polyantha* (Hedw.) Schimp., а також у тканинах водяного макрофіта *Lemna minor* L., зібраних у цих районах.

#### Матеріали та методи

Територія досліджень охоплювала п'ять ділянок на території м. Львова, а саме: ділянку № 1 у Стрийському парку (49°49'24.0"N 24°01'30.0"E); ділянку № 2 в середній частині вулиці Стрийської (49°48'13.0"N 24°01'06.5"E); ділянку № 3 в кінцевій частині вулиці Стрийської (49°46'38.0"N 24°00'51.5"E); ділянку № 4 поблизу сполучення вулиць Личаківської та Пасічної (49°50'09.5"N 24°04'09.0"E); ділянку № 5 поблизу вул. Хортицької (49°48'12.5"N 24°02'04.5"E). Ділянки № 1–3 і № 5 розташовані у південній частині Львова, ділянка № 4 – у північно-східній частині міста. На ділянках № 2–5 вибрано пункти спостереження за рухом автотранспорту, ділянку № 1 трактували як умовно контрольну під час досліджень рівня акумуляції металів у гаметофітах мохів. Інтенсивність транспортного навантаження визначали методом підрахунку автомобілів різних типів згідно з методикою [10]. Аналізували кількість: 1) легкових автомобілів; 2) вантажних автомобілів різного типу; 3) автобусів різного типу. Спостереження проводили у різні періоди світлового дня; тривалість спостереження – 2 год. Дослідження повторювали тричі.

Вплив транспортного навантаження на рівень накопичення металів у гаметофітах мохоподібних вивчали з використанням мохів *Brachythecium rutabulum* і *Pylaisia polyantha*, зібраних на ділянках № 1–4. Гаметофіти моху *P. polyantha* збирали на ділянках № 1, № 2 і № 4, а моху *B. rutabulum* – на ділянках № 1 і № 3. Відбір і підготовку зразків

проводили з використанням стандартних методів [29]. Під час ідентифікації мохоподібних використовували стереоскопічний мікроскоп XS 6220.

З метою вивчення автотранспортного навантаження на вміст металів у водоймах і водяних рослинах вибрано два стави на території м. Львова, а саме: поблизу вул. Хортицької (став № 1) і в середній частині вул. Стрийської, поблизу перетину вул. Стрийська–Хуторівка–Наукова (став № 2), в яких відбирали проби води і плейстофіта ряски малої (*Lemna minor*). Стави розміщені на досліджуваних ділянках, відповідно, № 5 і № 2, неподалік пунктів спостереження за інтенсивністю транспортного руху.

У рослинному матеріалі (гаметофіти мохів, рослини *L. minor*) і у воді, відібраній із зазначених водойм, аналізували концентрацію Кадмію (Cd), Хрому (Cr), Купруму (Cu), Феруму (Fe), Мангану (Mn), Нікелю (Ni), Плюмбуму (Pb) і Цинку (Zn) із застосуванням атомно-абсорбційного спектрометра C-115PK Selmi (Україна). Зразки рослин попередньо мінералізували, використовуючи концентровану нітратну кислоту (HNO<sub>3</sub>) і гідроген пероксид (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) [23]. Вміст металів у рослинах виражали в міліграмах у перерахунку на 1 кг сухої маси зразків, а у воді – в мікрограмах на 1 л. У рослинах *L. minor* визначали коефіцієнти біоаккумуляції (КБА) металів за формулою:  $KBA = C1/C2$ , де C1 – концентрація металу в рослинному матеріалі (мг/кг), C2 – концентрація металу у воді (мг/л) [19]. Результати опрацьовували методами варіаційної статистики [32].

#### Результати і їхнє обговорення

Результати досліджень свідчать про різний рівень транспортного навантаження на досліджуваних ділянках вулиць м. Львова. Інтенсивність транспортного руху на ділянках № 2–4 становить, відповідно, 726±95, 993±126 і 1189±122 транспортні засоби за 1 год, а на ділянці № 5 цей показник становить 25±4 транспортних засобів за 1 год. Відповідно до критеріїв оцінки транспортного навантаження (таких, зокрема, як добова інтенсивність транспортного руху) [11], навантаження на ділянках № 2–4 високе, а на ділянці № 5 – низьке. Встановлено, що загальна кількість транспортних засобів і кількість легкових автомобілів, які проїжджають за 1 год через пункт сполучення вул. Личаківської та Пасічної (ділянка № 4), вірогідно більші ( $p < 0,05$ ), а через ділянку № 5 (вул. Хортицька) – менші ( $p < 0,001$ ), порівняно з ділянкою № 2 (середня частина вул. Стрийської).

Результати досліджень свідчать про відмінності в інтенсивності акумуляції окремих металів у гаметофітах мохів *Pyralisia polyantha* і *Brachythecium rutabulum* за умов росту на ділянках із транспортним навантаженням (№ 2–4) і на контрольній ділянці № 1 у Стрийському парку (рис. 1). Зокрема, в гаметофітах *P. polyantha*, зібраних на ділянці № 2, концентрація Pb і Zn більша, відповідно, в 4,3 і 2,4 рази ( $p < 0,05$ ), ніж у зразках, зібраних на території парку (рис. 1, А). Гаметофіти *P. polyantha*, зібрані на ділянці № 4, характеризуються більшим рівнем акумуляції Mn, Pb і Zn, відповідно, в 4,6, 12,5 і 1,7 рази ( $p < 0,05–0,001$ ), ніж ті, що зібрані на контрольній ділянці. Виразніше збільшення концентрації Плюмбуму і Мангану в гаметофітах *P. polyantha* за умов росту на ділянці № 4, ніж на ділянці № 2, відповідає більшій інтенсивності транспортного навантаження у місці сполучення вул. Личаківська–Пасічна, порівняно зі середньою частиною вул. Стрийської.

Аналогічні різниці встановлені під час аналізу концентрації металів у зразках моху *B. rutabulum*, зібраних на ділянці № 3 (кінцева частина вул. Стрийської), порівняно з ділянкою № 1 (рис. 1, Б). Згідно з отриманими результатами, за умов росту *B. rutabulum* на ділянці № 3, яка зазнає транспортного навантаження, в гаметофітах моху значно більшою мірою акумулюються такі метали, як Zn ( $p < 0,001$ ), Cu ( $p < 0,01$ ), Mn і Pb ( $p < 0,05$ ), ніж за умов росту цього виду мохоподібних на території Стрийського парку.

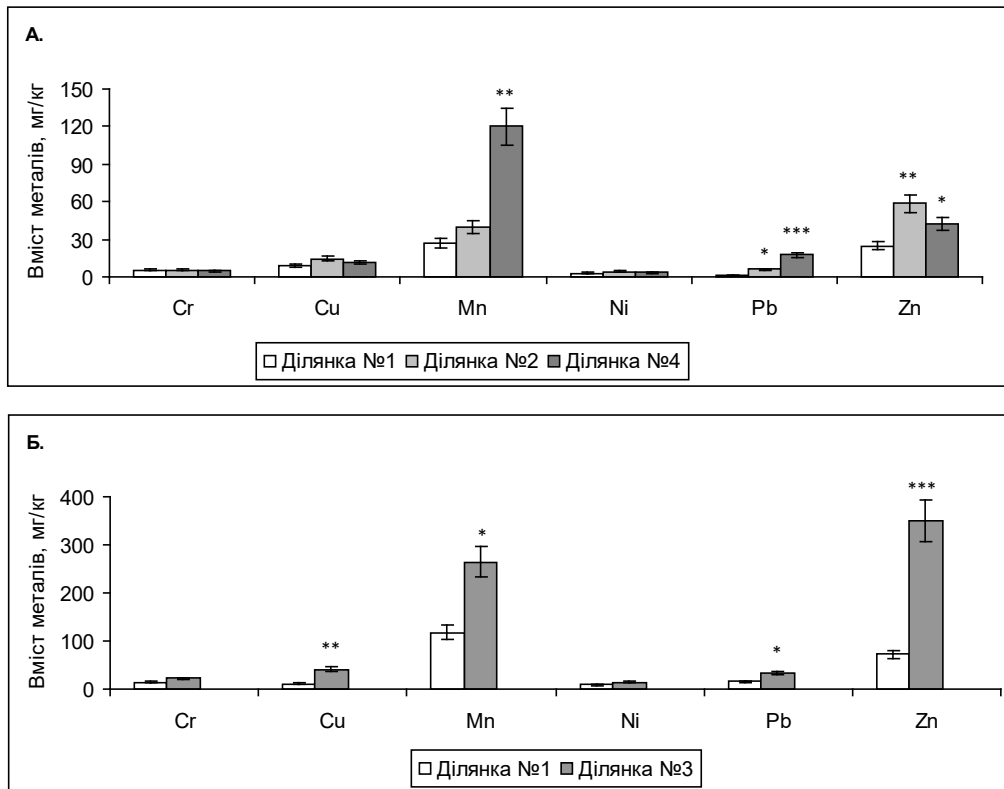


Рис. 1. Концентрація металів у гаметофітах мохів *Pylaisia polyantha* (А) і *Brachythecium rutabulum* (Б), зібраних у Стрийському парку (ділянка № 1) і на ділянках № 2–4, прилеглих до вулиць із різним рівнем транспортного навантаження ( $M \pm m$ ,  $n=3$ ). Примітки: \*, \*\*, \*\*\* – вірогідність різниць між вмістом металів у гаметофітах мохів, зібраних на ділянках № 2–4 порівняно з ділянкою № 1 (\* –  $p < 0,05$ ; \*\* –  $p < 0,01$ ; \*\*\* –  $p < 0,001$ )

Із наукових джерел відомо, що транспортне навантаження зумовлює збільшення концентрації Pb, Zn, Cu, Mn (та інших металів) в атмосферному повітрі [33]. Метали надходять у повітря з вихлопними газами автомобілів, сажею, пилом від стирання автомобільних деталей і шин, дорожнього полотна і т. д. [13, 16]. Мохоподібні завдяки морфологічним і фізіологічним особливостям (відсутність справжньої кореневої системи, відсутність або слабкий розвиток кутикули) поглинають метали, головним чином, з повітря й атмосферних опадів, а не зі субстрату, який колонізують [26, 27]. Водночас ці рослини виявляють толерантність до впливу важких металів [26]. Через те мохоподібні більшою мірою, ніж інші компоненти біоти, придатні до використання у біомоніторингових і біоіндикаційних дослідженнях стану атмосфери [26, 27]. У низці праць встановлено ефективність застосування мохів як біоіндикаторів забруднення атмосфери металами в містах України й інших країн [6, 8, 25]. Отримані в нашій роботі результати щодо високого рівня акумуляції Mn, Pb і Zn у гаметофітах *P. polyantha* і *B. rutabulum* та Cu у гаметофіті *B. rutabulum* за умов росту на територіях, прилеглих до вул. Стрийської та сполучення вул. Личаківська–Пасічна, узгоджуються з результатами спостережень щодо інтенсивного руху автотранспорту на досліджуваних ділянках і вказують на біоіндикаційний потенціал

цих видів мохоподібних під час оцінки стану атмосфери в районах із високим рівнем транспортного навантаження.

З метою детальнішого аналізу впливу транспортного навантаження на стан компонентів довкілля в урбоєкосистемі м. Львова проведено дослідження вмісту важких металів у воді двох ставів, розташованих, відповідно, поблизу вул. Хортицької (став № 1) і в середній частині вул. Стрийської (став № 2), та рівня акумуляції металів у тканинах плейстофіта *Lemna minor*, зібраного в цих водоймах. Згідно з отриманими результатами, концентрація всіх досліджуваних металів, окрім Cd і Mn, значно більша у воді ставу № 2, розташованого на ділянці з інтенсивним транспортним рухом, порівняно зі ставом № 1, розміщеним на ділянці, де інтенсивність транспортного руху невисока (табл. 1). Найвиразнішу різницю між зазначеними водоймами виявлено в концентрації Zn і Cu (відповідно, в 3,4 і 2,9 разу,  $p < 0,01-0,001$ ), а вміст Cr, Fe і Pb у воді ставів відрізняється, відповідно, в 1,8, 1,6 і 1,9 разу ( $p < 0,05$ ). Такі результати вказують на зв'язок між рівнем транспортного навантаження та забрудненням водного середовища важкими металами. Потрібно зазначити, що вода в обох ставах має високу концентрацію Pb, а за середнім вмістом у воді досліджуваних водойм метали можна розмістити в такому порядку: Fe > Mn > Pb > Zn > Cu > Cr > Cd (табл. 1). Варто зауважити, що високий вміст Pb виявлено і під час досліджень води р. Зубри, русло якої пролягає у південній частині м. Львова [15].

Як відомо, забруднення водойм важкими металами супроводжується їхнім поглинанням і накопиченням у водяних рослинах. Плейстофіти, зокрема, *Lemna minor*, є зручними об'єктами у моніторингових дослідженнях стану водного середовища, оскільки ці рослини не контактують із донними відкладами, а абсорбують метали й інші забруднювачі з товщі води через кореневу систему і поверхню листків, яка стикається з водою. У низці праць встановлено, що різні види роду *Lemna* L. стійкі до дії важких металів і можуть накопичувати їх у високій концентрації [1, 4, 14, 17, 30].

Результати наших досліджень свідчать, що зразки *L. minor*, зібрані зі ставу № 2, містять більшу концентрацію Cr, Fe і Zn, відповідно, в 1,7, 1,5 і 3,2 разу ( $p < 0,05-0,01$ ), ніж рослини зі ставу № 1, розміщеного на ділянці з низьким рівнем транспортного навантаження (табл. 1). Проте вірогідних різниць у концентрації Cu і Pb у зразках ряски із зазначених водойм не виявлено, незважаючи на значні відмінності в концентрації цих металів у воді. Аналіз коефіцієнта біоаккумуляції металів у рослинах *L. minor* свідчить, що цей показник для Cu значно менший у зразках, зібраних зі ставу № 2, порівняно зі зразками ряски зі ставу № 1 (табл. 1). Подібний ефект, хоча й меншою мірою, виявляється щодо Pb. З отриманих даних випливає, що за більшого вмісту Cu і Pb у воді зі ставу № 2 рівень їхньої абсорбції та акумуляції у тканинах *L. minor* відбувається менш інтенсивно, ніж у діапазоні низьких концентрацій зазначених металів у водному середовищі ставу № 1. Натомість, коефіцієнти біоаккумуляції інших металів (у діапазоні концентрацій, зареєстрованих у воді досліджуваних ставів) вказують на пропорційну залежність між їхнім вмістом у водному середовищі та рівнем накопичення у рослинах *L. minor*. Загалом, у цьому дослідженні найбільші значення коефіцієнта біоаккумуляції у рослинах *L. minor* встановлено для Mn (790,3), Fe (416,9) і Zn (331,8) (табл. 1). Такі результати свідчать про біоіндикаційні властивості *L. minor* і значний біоремедіаційний потенціал цього макрофіта. Можливість використання *L. minor* та інших видів ряски з метою очищення стічних вод різноманітних підприємств від важких металів відзначено і в інших експериментальних працях [14, 18].

Вміст металів у воді та рослинах *Lemna minor*  
зі ставів на території м. Львова ( $M \pm m$ ,  $n=3-5$ )

Метали	Став № 1			Став № 2		
	Вміст металів	Вміст металів	КБА	Вміст металів	Вміст металів	КБА
	у воді, мкг/л	у рослинах, мг/кг		у воді, мкг/л	у рослинах, мг/кг	
Cd	2,45±0,30	0,043±0,005	17,9	3,20±0,50	0,052±0,008	16,3
Cr	3,49±0,36	0,148±0,02	42,4	6,34±0,90*	0,247±0,028*	39,0
Cu	6,125±0,80	0,712±0,111	116,2	17,53±2,11**	0,985±0,140	56,2
Fe	331,0±28,0	138,0±11,2	416,9	514,0±47,0*	208,4±24,6*	405,4
Mn	193,1±42,0	152,6±21,0	790,3	224,0±46,0	173,2±28,9	773,2
Pb	11,3±1,7	0,315±0,038	27,8	21,4±2,6*	0,392±0,054	18,3
Zn	6,91±1,12	2,293±0,245	331,8	23,34±1,96***	7,216±0,811**	309,2

**Примітка:** \*, \*\*, \*\*\* – вірогідність різниць у концентрації металів між пробами води і рослинного матеріалу зі ставів № 1 і № 2 (\* –  $p < 0,05$ ; \*\* –  $p < 0,01$ ; \*\*\* –  $p < 0,001$ )

Результати досліджень доводять, що забруднення атмосферного повітря і водного середовища, зумовлене високим рівнем автотранспортного навантаження в окремих районах м. Львова, супроводжується підвищенням рівня акумуляції важких металів у гаметофітах мохів *Brachythecium rutabulum* і *Pylaisia polyantha* та водяного макрофіта *Lemna minor*, порівняно з рослинами, які ростуть, відповідно, на території Стрийського парку й у водоймі на ділянці з незначною інтенсивністю транспортного руху. Отримані в роботі результати свідчать про біоіндикаційний потенціал мохів *B. rutabulum* і *P. polyantha* та макрофіта *L. minor* і вказують на перспективність використання цих рослин під час моніторингу забруднення компонентів довкілля металами в урбоєкосистемі м. Львова та в інших містах з високим рівнем транспортного навантаження. Водночас результати досліджень вказують на високу здатність *L. minor* до накопичення важких металів у забруднених водоймах.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Антоняк Г. Л., Багдай Т. В., Першин О. І. та ін. Метали у водних екосистемах та їх вплив на гідробіоти // Біологія тварин. 2015. Т. 17. № 2. С. 9–24.
2. Антоняк Г. Л., Мамчур З. І., Першин О. І. та ін. Біологічна доступність металів та їх акумуляція в тканинах рослин // Вісн. проблем біології і медицини. 2015. Вип. 3. № 2. С. 11–16.
3. Бойко М. Ф. Характеристика мохоподібних як індикаторів стану навколишнього середовища // Чорноморськ. бот. журнал. 2010. Т. 6. № 1. С. 35–40.
4. Бубис О., Антоняк Г. Вплив кадмію, плюмбуму і хрому (VI) на активність ензимів антиоксидантної системи в клітинах ряски (*Lemna minor* L.) // Вісн. Львів. ун-ту. Сер. біол. 2014. Вип. 65. С. 161–169.
5. Васькін Р. А., Васькіна І. В. Аналіз динаміки забруднення атмосферного повітря України викидами автотранспорту // Вісн. Кременчуцьк. держ. політех. ун-ту. 2009. Вип. 5 (58). Ч. 1. С. 109–112.
6. Глухов О. З., Маїталер О. В. Індикація техногенного забруднення середовища із застосуванням мохів // Промышленная ботаника. 2007. Вип. 7. С. 3–10.
7. Дідух Я. П., Плюта П. Г. Фітоіндикація екологічних факторів. К., 1994. 280 с.
8. Комісар О. С., Бойко М. Ф. Важкі метали в гаметофітах моху *Bryum argenteum* Hedw. та ґрунтах на територіях заводів міста Миколаєва (Україна) // Чорноморськ. бот. журнал. 2013. Т. 9. № 4. С. 533–541.
9. Мамчур З. Урбанofільні епіфітні мохи у м. Львові // Вісн. Львів. ун-ту. Сер. біол. 2010. Вип. 54. С. 115–122.

10. М 218-02070915-674:2010. Методика визначення рівня завантаженості та пропускної здатності автомобільних доріг. К., 2010. Режим доступу: [http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id\\_doc=25990](http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=25990)
11. Паньків Н. Є., Тетерко Н. З. Оцінювання забруднення атмосферного повітря внаслідок завантаженості вулиць Львова автотранспортом // Наук. вісн. НЛТУ України. 2016. Вип. 26.8. С. 215–223.
12. Першаков В. М., Белятинський А. О., Степанчук О. В., Кротов Р. В. Дослідження транспортних потоків в аспекті заторових станів дорожнього руху. К.: НАУ, 2015. 177 с.
13. Adamiec E., Jarosz-Krzemińska E., Wieszała R. Heavy metals from non-exhaust vehicle emissions in urban and motorway road dusts // Environ. Monit. Assess. 2016. Vol. 188. P. 369.
14. Al-Khafaji M. S., Al-Ani F. H., Ibrahim A. F. Removal of some heavy metals from industrial wastewater by *Lemna minor* // KSCE J. Civ. Eng. 2018. Vol. 22. N 4. P. 1077–1082.
15. Antonyak H., Lesiv M., Panas N., Yanyshyn S. Levels of heavy metals in several rivers of the Western Bug and Dniester basins in the Lviv region (Western Ukraine) // Periodyk Naukowy Akademii Polonijnej. 2019. Vol. 35. N 4. P. 11–18.
16. Awofolu O. R. Impact of automobile exhaust on levels of lead in a commercial food from bus terminals // J. Appl. Sci. Environ. Manage. 2004. Vol. 8. N 1. P. 23–27.
17. 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.
18. Galczyńska M., Mańkowska N., Milke J., Buśko M. Possibilities and limitations of using *Lemna minor*, *Hydrocharis morsus-ranae* and *Ceratophyllum demersum* in removing metals with contaminated water // J. Water Land Dev. 2019. N 40 (I–III). P. 161–173.
19. Hawker D., Connell D. An evaluation between bioconcentration factor and aqueous solubility // Chemosphere. 1991. Vol. 23. P. 231–241.
20. Hsu C. Y., Chiang H. C., Chen M. J. et al. Impacts of hazardous metals and PAHs in fine and coarse particles with long-range transports in Taipei City // Environ. Pollut. 2019. Vol. 250. P. 934–943.
21. Järup L. Hazards of heavy metal contamination // Br. Med. Bull. 2003. Vol. 68. N 1. P. 167–182.
22. Kumar D., Anand S., Tiwari J. et al. Removal of inorganic and organic contaminants from terrestrial and aquatic ecosystems through phytoremediation and biosorption. In: Environmental Biotechnology: For Sustainable Future / Eds. R. C. Sobti, A. Kumar, K. R. Naveen. Springer Nature Singapore, 2019. P. 45–71.
23. Ogunkunle C. O., Ziyath A. M., Rufai S. S., Fatoba P. O. Surrogate approach to determine heavy metal loads in a moss species – *Barbula lambaranensis* // J. King Saud Univ. Sci. 2016. Vol. 28. N 2. P. 193–197.
24. Pan L., Wang Y., Ma J. et al. A review of heavy metal pollution levels and health risk assessment of urban soils in Chinese cities // Environ. Sci. Pollut. Res. Int. 2018. Vol. 25. N 2. P. 1055–1069.
25. Qarri F., Lazo P., Allajbeu S. et al. The evaluation of air quality in Albania by moss biomonitoring and metals atmospheric deposition // Arch. Environ. Contam. Toxicol. 2019. Vol. 76. P. 554–571.
26. Stanković J. D., Sabovljević A. D., Sabovljević M. S. Bryophytes and heavy metals: a review // Acta Bot. Croat. 2018. Vol. 77. N 2. P. 109–118.
27. Tessier L., Boisvert J. L. Performance of terrestrial bryophytes as biomonitors of atmospheric pollution. A review // Toxicol. Environ. Chem. 1999. Vol. 68. P. 179–220.

28. Tian X., Dai H., Geng Y. et al. Economic impacts from PM2.5 pollution-related health effects in China's road transport sector: A provincial-level analysis // *Environ. Int.* 2018. Vol. 115. P. 220–229.
29. Vanderpoorten A., Papp B., Gradstein R. Sampling of bryophytes. Chapter 13. In: *Manual on Field Recording Techniques and Protocols for All Taxa Biodiversity Inventories* / Eds. J. Eymann, J. Degreef, Ch. Häuser et al. Belgian Development Cooperation, 2010. P. 331–345.
30. Velichkova K., Sirakov I., Valkova E. et al. Bioaccumulation and protein content of *Lemna minuta* Kunth and *Lemna valdiviana* Phil. in Bulgarian water reservoirs // *Scientific Papers. Series E. Land Reclamation, Earth Observation & Surveying, Environmental Engineering.* 2017. Vol. 6. P. 104–107.
31. Wan D., Yang G., Yang J., Zhan C. Ecological risks and spatial distributions of heavy metals in Beijing atmospheric dust // *Polish J. Environ. Stud.* 2018. Vol. 27. N 2. P. 881–887.
32. Welham S. J., Gezan S. A., Clark S. J., Mead A. *Statistical Methods in Biology. Design and Analysis of Experiments and Regression.* Taylor & Francis Group, LLC, 2015. 568 p.
33. Yaylalı-Abanuz G. Application of multivariate statistics in the source identification of heavy-metal pollution in roadside soils of Bursa, Turkey // *Arabian Journal of Geosciences.* 2019. Vol. 12. P. 382.

Стаття надійшла до редакції 04.02.20

прийнята до друку 02.06.20

## IMPACT OF VEHICULAR TRAFFIC ON THE ACCUMULATION OF METALS BY PLANTS IN THE TERRITORY OF LVIV

A. Polishchuk, M. Lesiv, H. Antonyak

*Ivan Franko National University of Lviv  
1, Saksagansky St., Lviv 79005, Ukraine  
e-mail: alex1994pol@gmail.com*

The study was aimed at investigating the effect of traffic load on the accumulation of heavy metals (Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb and Zn) by moss gametophytes (*Brachythecium rutabulum* and *Pylaisia polyantha*) and aquatic macrophyte *Lemna minor* in the territory of the city of Lviv (Ukraine). In the course of the study, five sites were selected: site 1 in the territory of the Stryiskyi Park, which was used as a control one, and sites 2–5, in which the traffic intensity was analyzed and plant samples were collected. Sites 2 and 3 were selected in the middle and end parts of Stryiska Street, respectively, site 4 was located near the junction of Lychakivska and Pasichna streets, and site 5 was chosen in the immediate vicinity of Khortytska Street. Gametophytes of mosses *B. rutabulum* and *P. polyantha* were collected at sites 1–4 and analyzed for metals content; two ponds were selected at sites 2 and 5, respectively, and metal concentrations were analyzed in water and in the samples of *L. minor*. Metal concentrations were determined using a Selmi C-115PK atomic absorption spectrometer. According to observations, the daily traffic intensity at sites 2–4 was high; at the same time, site 5 was characterized by low traffic intensity. It was found that at sites 2–4 with heavy vehicular traffic, the accumulation levels of Mn, Pb, and Zn in gametophytes of both species of mosses and Cu in gametophyte of *B. rutabulum* were significantly higher compared to the control site in Stryiskyi Park. Significantly higher concentrations of Cr, Cu, Fe, Pb and Zn were found in the water of the pond located at site 2 with a high level of transport load (the middle part of Stryiska Street) compared to the pond at site 5, where the level of transport load was negligible; samples of *L. minor* from this reservoir were characterized by a higher



---

content of Cr, Fe, and Zn compared to the pond at site 5. Investigating the accumulation of metals in *L. minor*, the highest values of bioaccumulation factors were found for Mn, Fe, and Zn. The obtained results show the bioindication potential of the plants *Brachythecium rutabulum*, *Pylaisia polyantha* and *Lemna minor*, and suggest that these species can be used to assess environmental pollution by heavy metals in the urban ecosystem of Lviv and in other areas with high traffic density.

*Keywords:* bryophytes, aquatic macrophytes, metals, vehicular traffic, urban ecosystems