

## АКУМУЛЯЦІЯ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ У ДЕЯКИХ ВИДАХ РОСЛИН НА ТЕРИТОРІЇ МІСТА ЛЬВОВА

Поліщук О.І., Лесів М.С., Гілецька І.Б., Панченко В.О., Антоняк Г.Л.  
Львівський національний університет імені Івана Франка  
вул. Сакаганського, 1, 79005, м. Львів  
[alex1994pol@gmail.com](mailto:alex1994pol@gmail.com), [halyna\\_antonyak@yahoo.com](mailto:halyna_antonyak@yahoo.com)

У статті розкрито особливості акумуляції важких металів (Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Zn) у тканинах шести видів рослин, зібраних на території та у водоймах міста Львова (Західна Україна). В районах, що підлягають різному рівню промислових і транспортних навантажень, відбирали проби бріофітів *Brachythecium rutabulum* та *Rhynchosstegium murale*, судинних наземних рослин *Taraxacum officinale* та *Equisetum arvense*, а також напівзанурених гідрофітів *Typha latifolia* та *Typha angustifolia*. Концентрацію важких металів у рослинних зразках аналізували методом атомно-абсорбційної спектрофотометрії за допомогою атомно-абсорбційного спектрометра Selmi C-115PK (Україна). Опрацювання отриманих результатів здійснювали із застосуванням методів варіаційної статистики. У процесі досліджень встановлено статистично вірогідні різниці між вмістом металів у гаметофітах мохів (Mn, Pb і Zn – у *Brachythecium rutabulum*; Mn і Pb – у *Rhynchosstegium murale*), зібраних у парковій частині міста і в районах з індустріальним і транспортним навантаженням. На прикладі території, прилеглої до Європейського маршруту E40 та автозаправної станції «ОККО» у передмісті Львова, встановлено залежність рівня акумуляції важких металів у рослинах *Taraxacum officinale* і *Equisetum arvense* від відстані до джерел забруднення ґрунту. Досліджуючи водні об'єкти м. Львова, з'ясовано високий рівень акумуляції металів у напівзанурених рослинах-гідрофітах *Typha latifolia* і *Typha angustifolia*, особливо за умов розташування водойм на території, прилеглій до автошляхів з інтенсивним транспортним рухом. Результати досліджень свідчать про видові різниці в акумуляції металів і високий рівень важких металів у рослинах за умов росту в районах, які зазнають техногенного впливу, включно з розташованими там водоймами. Водночас отримані в роботі результати вказують на біоіндикаційні властивості досліджуваних видів рослин і можливість їхнього застосування під час здійснення екологічного моніторингу стану навколишнього середовища у промислових містах. **Ключові слова:** важкі метали, екологічний моніторинг, біоіндикація, урбоекосистеми, місто Львів.

**Accumulation of heavy metals in several plant species in the city of Lviv. Polishchuk A., Lesiv M., Giletska I., Panchenko V., Antonyak H.**

The article analyzes the features of the accumulation of heavy metals (Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, and Zn) in the tissues of six plant species collected on the territory and in the water bodies of the city of Lviv (Western Ukraine). Bryophytes *Brachythecium rutabulum* and *Rhynchosstegium murale*, vascular terrestrial plants *Taraxacum officinale* and *Equisetum arvense*, as well as semi-submerged hydrophytes *Typha latifolia* and *Typha angustifolia* were sampled in areas subject to different levels of industrial and transport loads. Concentrations of heavy metals in plant samples were analyzed by atomic absorption spectrophotometry using an atomic absorption spectrometer Selmi C-115PK (Ukraine). Processing of the results was carried out using standard statistical methods. During the research, statistically significant differences were found between the content of metals in the gametophytes of mosses (Mn, Pb, and Zn in *Brachythecium rutabulum*; Mn and Pb in *Rhynchosstegium murale*) collected in the park area of the city and in areas with industrial and transport loads. On the example of the territory adjacent to the European route E40 and OKKO gas stations in the suburbs of Lviv, the dependence of the level of metal accumulation in plants *Taraxacum officinale* and *Equisetum arvense* on the distance to soil pollution sources was demonstrated. When studying water bodies in the city of Lviv, a high level of metal accumulation was found in semi-submerged hydrophytes *Typha latifolia* and *Typha angustifolia*, especially in water bodies located in the territory adjacent to roads with heavy traffic. The results of the study indicate species differences in the accumulation of metals and high levels of heavy metal accumulation in plants in areas subject to anthropogenic impact, including in water bodies located there. At the same time, the results point to the bioindication properties of the studied plant species and the possibility of their use in environmental monitoring in industrial cities. **Key words:** heavy metals, environmental monitoring, bioindication, urban ecosystems, Lviv city.

**Постановка проблеми.** Функціонування урбо-екосистем супроводжується складною взаємодією між природним та антропогенним компонентами й істотним впливом техногенних чинників на навколишнє середовище. Цей вплив значною мірою пов'язаний із наявністю в міських системах різноманітних джерел забруднення (промислові і паливно-енергетичні підприємства, транспорт), які спричиняють надходження поллютантів в усі компартменти довкілля: атмосферне повітря, ґрунт, водні об'єкти, розташовані на території промислових міст. Одна з важливих груп забруднювачів – важкі метали, які надходять у навколишнє середовище зі стаціонар-

них і рухомих джерел, а крім того, можуть переноситись з атмосферними потоками на віддалені території [1–3]. Процеси індустріального розвитку та урбанізації, пов'язані з інтенсивним добуванням, переробкою та використанням металів, призвели до істотного збільшення металів у компонентах урбо-екосистем. Це супроводжується погіршенням стану атмосферного повітря і ґрунту, якості води та зростанням захворюваності населення [4–6].

**Актуальність дослідження.** Для оцінки екологічного стану навколишнього середовища та його забруднення металами актуальним є екологічний моніторинг динаміки важких металів у компонентах міських

екосистем [7–9]. Важливою складовою частиною екологічного моніторингу довкілля є біоіндикація із застосуванням рослин та інших організмів. Тому важливою науковою проблемою є дослідження здатності рослин, поширених в урбоекосистемах, до акумуляції важких металів.

**Зв'язок авторського доробку з важливими науковими та практичними завданнями.** Виконане наукове дослідження є фрагментом науково-дослідної роботи кафедри екології Львівського національного університету імені Івана Франка «Моніторинг та різнорівнева біоіндикаційна оцінка екологічного стану урбанізованих і техногенно трансформованих територій та акваторій Західної України» (№ державної реєстрації 0114U004241). Тема роботи відповідає актуальним напрямкам наукової діяльності в Україні, які пов'язані з вирішенням актуальних проблем екології.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Згідно із загальноприйнятим визначенням, групу важких металів становлять металічні елементи з атомною масою понад 40 о.а.м. або питомою густиною понад 5 г/см<sup>3</sup>, які нині становлять велику групу техногенних поллютантів довкілля [1; 5]. Відомо, що деякі з важких металів (зокрема, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni, Zn) є есенціальними мікроелементами, потрібними для росту і розвитку рослин; інші, такі як Hg, Pb, Cd, не беруть участі в метаболічних процесах, через що їх зараховують до неесенціальних, або токсичних, металів [3]. За певних концентрацій метали обох груп виявляють токсичні ефекти щодо рослин. Водночас окремі види рослин стійкі до впливу важких металів і можуть накопичувати їх у значній кількості. Рослини-акумулятори металів, формуючи основу ланцюгів живлення, значною мірою визначають рівень поширення металів у трофічних мережах [10].

Забруднення довкілля металами має екологічні та медичні наслідки. В епідеміологічних дослідженнях доведено прямий зв'язок між забрудненням повітря і збільшенням захворюваності населення промислових міст [6; 11]. Відомо, що тривале надходження атмосферних забруднювачів в організм людини зумовлює зниження імунітету, зростання частоти алергічних, пульмонологічних, серцево-судинних та онкологічних захворювань [4; 12].

У низці досліджень встановлено велике значення застосування рослин під час біоіндикації стану навколишнього середовища та екологічної оцінки змін у природних екосистемах, зумовлених впливом техногенних чинників. До біоіндикаторів забруднення довкілля важкими металами належать мохоподібні та різні види судинних рослин [9; 13–16]. Зміни у видовому складі рослин внаслідок впливу техногенних чинників часто використовують для аналізу стану абіотичних компонентів урбоекосистем [17]. Забруднення довкілля у промислових містах зумовлює зміни у складі біоценозів, зникнення видів біоти, чутливих до впливу поллютантів, і поширення інвазивних видів.

**Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття.** Здатність рослин до акумуляції важких металів вивчена недостатньою мірою. Зокрема, це стосується мохоподібних і судинних рослин, які входять до складу екосистем на території міста Львова, яке є одним із найбільших промислових центрів і важливим транспортним вузлом Західної України. У місті функціонує понад 160 промислових підприємств, низка з яких спричиняє забруднення довкілля важкими металами. Поряд із стаціонарними джерелами викидів на території міста важливим джерелом забруднення довкілля є автомобільний та інші види транспорту. Це призводить до накопичення металів у компонентах біоти.

**Мета дослідження.** Метою роботи було дослідити концентрацію важких металів (Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Zn) у тканинах шести видів рослин (*Brachythecium rutabulum*, *Rhynchosstegium murale*, *Taraxacum officinale*, *Equisetum arvense*, *Typha latifolia*, *Typha angustifolia*), зібраних на території та у прибережних ділянках водойм міста Львова.

**Новизна.** У дослідженнях уперше з'ясовано рівень акумуляції важких металів у рослинах, зібраних у районах із різним рівнем техногенного впливу на території урбоекосистеми Львова. Дослідження охоплює бріофіти *Brachythecium rutabulum* (Hedw.) Schimp. і *Rhynchosstegium murale* (Hedw.) Schimp., судинні наземні рослини: кульбаба лікарська (*Taraxacum officinale* (L.) Weber ex F.H.Wigg) і хвощ польовий (*Equisetum arvense* L.) та напівзанурені гідрофіти: рогіз широколистий (*Typha latifolia* L.) і рогіз вузьколистий (*Typha angustifolia* L.). Встановлено видові різниці в акумуляції металів у тканинах рослин і більший рівень важких металів у рослинах за умов росту в районах, які зазнають техногенного впливу, включно з розташованими там водоймами.

**Методологічне та загальнонаукове значення.** На основі експериментальних досліджень з'ясовано відмінності у здатності рослин, які належать до різних таксономічних та екологічних груп, накопичувати важкі метали. Встановлено статистично вірогідні різниці між концентрацією окремих металів у рослинах, зібраних у районах із різним рівнем індустріального і транспортного навантаження. Отримані результати можуть бути використані для екологічної оцінки стану компонентів довкілля та рівня його забруднення важкими металами в міських екосистемах.

**Виклад основного матеріалу.** Дослідження проводили впродовж 2018–2019 рр. Гаметофіти мохів (*Brachythecium rutabulum*, *Rhynchosstegium murale*) для досліджень відбирали на трьох ділянках. Ділянку № 1 обрали на території Стрийського парку, який є об'єктом Природно-заповідного фонду України, пам'яткою садово-паркового мистецтва загальнодержавного значення. Територія парку (площею 52,14 га) фактично не зазнає впливу

техногенних чинників. Ділянки № 2 і № 3 обрали в південній частині м. Львова, яка належить до промислових районів, вздовж вул. Стрийської. Вулиця Стрийська (довжиною близько 7,5 км) – одна з головних автомагістралей м. Львова, для якої характерне значне транспортне навантаження. Зразки рослин *Taraxacum officinale* і *Equisetum arvense* відбирали на приміській території, прилеглої до автозаправної станції (АЗС) «ОККО» в с. Соکیلники, розміщеної поруч з Європейським маршрутом E40. На території, суміжній з АЗС та автошляхом E40, проби відбирали на різній віддалі від зазначеного об'єкта (5, 10, 50 і 100 м). Рослини *Typha latifolia* і *Typha angustifolia* відбирали у прибережних ділянках водойм, розміщених на території м. Львова (став «Зелене око» в районі вулиць Кубанська-Тарнавського, стави на вулиці Хортицькій і поблизу перехрестя вулиць Наукова-Стрийська з високою інтенсивністю транспортного навантаження). Відбір рослинного матеріалу і підготовку проб для досліджень здійснювали за допомогою стандартних методів. Концентрацію важких металів (Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Zn) у досліджуваних зразках визначали методом атомно-абсорбційної спектрофотометрії. Рослинний матеріал попередньо мінералізували із застосуванням  $\text{HNO}_3$  і  $\text{H}_2\text{O}_2$  [18]. Вимірювання проводили за допомогою атомно-абсорбційного спектрометра С-115РК Selmi (Україна). Концентрацію металів виражали в міліграмах у перерахунку на 1 кг сухої маси зразків. Результати опрацьовували методами варіаційної статистики [19].

Результати досліджень свідчать, що рівень накопичення окремих металів у гаметофітах двох аналізованих видів бріофітів неоднаковий (рис. 1).

За рівнем накопичення в гаметофіті моху *Rhynchostegium murale*, зібраного на території м. Львова, аналізовані метали можна розташувати в порядку зменшення таким чином:  $\text{Mn} > \text{Zn} > \text{Cr} > \text{Ni} > \text{Pb}$ ; натомість у гаметофіті *Brachythecium rutabulum* порядок розташування інший, а саме:  $\text{Mn} > \text{Zn} > \text{Pb} > \text{Cr} > \text{Ni}$ . Загалом, мох *Brachythecium rutabulum* характеризується більшим рівнем акумуляції металів, особливо Mn, Zn і Pb ( $p < 0,01$ – $0,001$ ), порівняно з епілітним мохом *Rhynchostegium murale* (рис. 1). Для з'ясування зв'язку між техногенним впливом на територію та рівнем акумуляції металів у гаметофітах мохів зразки рослинного матеріалу, зібрані на ділянках, які зазнають індустріального і транспортного навантаження, об'єднували, порівнюючи отримані дані з результатами досліджень бріофітів, зібраних у Стрийському парку. У процесі досліджень встановлено, що в гаметофітах *R. murale*

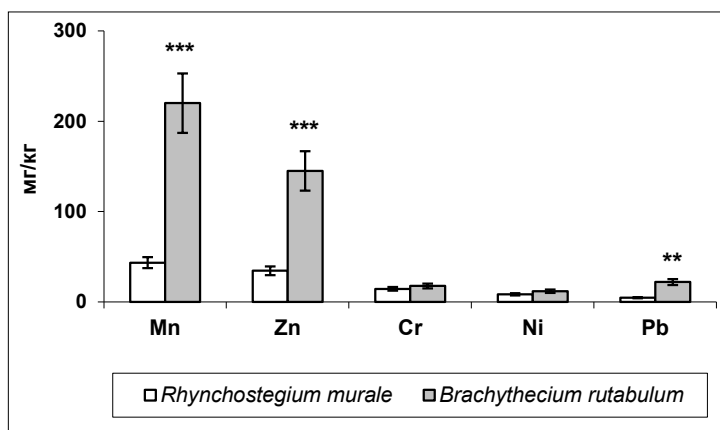


Рис. 1. Концентрація металів у гаметофітах мохів *Brachythecium rutabulum* і *Rhynchostegium murale* на території м. Львова

Примітка: на цьому і наступних рисунках \*\*, \*\*\* – вірогідність різниці між показниками: \*\* –  $p < 0,05$ ; \*\*\* –  $p < 0,001$

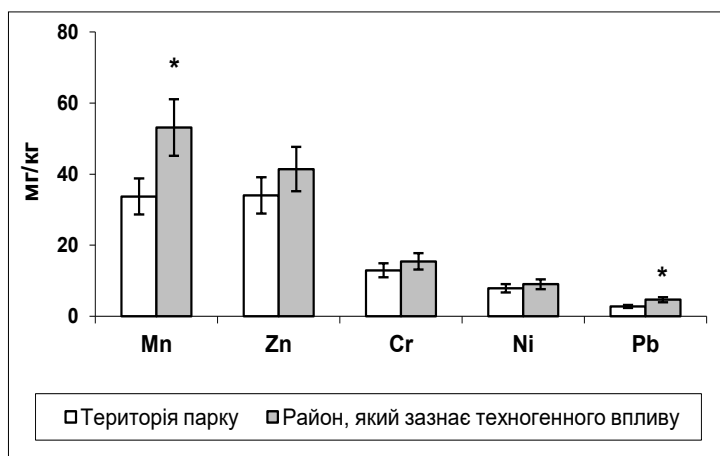


Рис. 2. Концентрація металів у гаметофіті моху *Rhynchostegium murale*, зібраного в районах м. Львова з різним рівнем антропогенного навантаження

концентрація Mn і Pb в зразках, зібраних на території, що зазнає техногенного впливу, більша, ніж у зразках зі Стрийського парку, відповідно, в 1,6 ( $p < 0,05$ ) і 1,7 разів ( $p < 0,05$ ), а вміст інших металів істотно не відрізняється між зразками, зібраними в досліджуваних районах м. Львова (рис. 2). У зразках моху *B. rutabulum*, зібраного на ділянках, які зазнають техногенного впливу, зміни концентрації металів виразніші, а саме: вміст Mn, Zn і Pb більший, відповідно, в 1,7 ( $p < 0,05$ ), 3,5 ( $p < 0,01$ ) і 2,2 разів ( $p < 0,01$ ), ніж у зразках, зібраних на території парку.

Аналогічно під час досліджень судинних рослин встановлено видові відмінності у процесах акумуляції важких металів. Це стосується і наземних рослин *Taraxacum officinale* та *Equisetum arvense*, і напівзанурених гідрофітів *Typha latifolia* і *Typha angustifolia*, які ростуть у прибережних ділянках водойм. Порівнюючи рослини *Taraxacum officinale* і *Equisetum arvense*, вірогідні різниці виявлено в концентрації Cu, Fe, Mn, Ni і Zn (рис. 3).

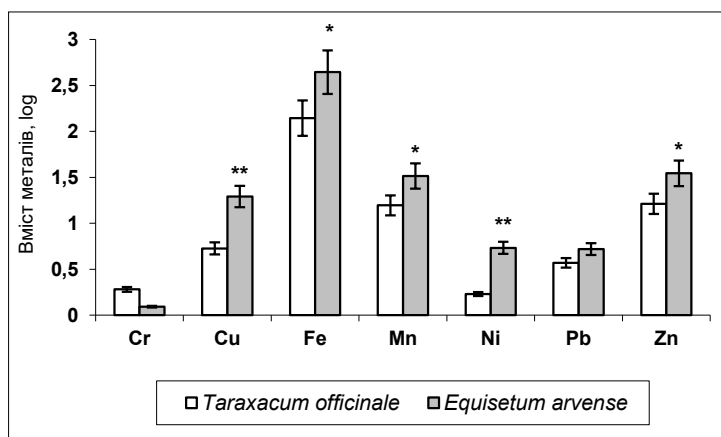


Рис. 3. Концентрація важких металів у рослинах *Taraxacum officinale* і *Equisetum arvense* (для зручності результати виражені у формі логарифмів значень, обчислених у міліграмах на 1 кг сухої маси зразків)

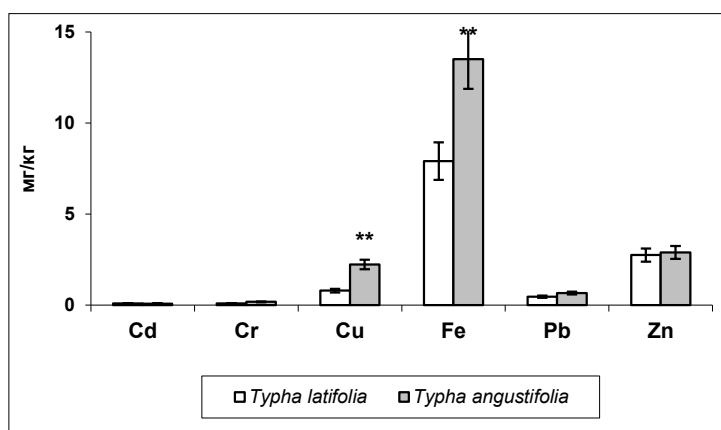


Рис. 4. Концентрація важких металів у рослинах *Typha latifolia* і *Typha angustifolia*, зібраних у водоймах на території м. Львова

Водночас встановлено, що в зразках *Taraxacum officinale* і *Equisetum arvense*, відібраних на віддалі 5 і 10 м від АЗС «ОККО» і автошляху Е40, концентрація важких металів значно більша, ніж на віддалі 50–100 м від зазначених об'єктів. Зокрема, вміст більшості важких металів у рослинах зменшується в 2–5 разів ( $p < 0,05$ – $0,01$ ) з віддаленням від зазначених об'єктів, залежно від виду рослин і від досліджуваного металу.

Під час дослідження концентрації металів у рослинах *Typha latifolia* і *Typha angustifolia* встановлено, що другий із цих видів інтенсивніше накопичує Cu і Fe ( $p < 0,01$ ), ніж перший (рис. 4). Згідно з отриманими результатами, відмінності в концентрації цих металів найвиразніше виявляються за умов росту рослин у ставу, розташованому поблизу перехрестя вулиць Наукова-Стрийська, які характеризуються високою інтенсивністю транспортного руху. Це свідчить про значний вплив транспортного навантаження на вміст важких металів у ґрунтах і водоймах, розташованих на міській території.

Загалом, результати досліджень підтверджують сучасні положення щодо важливого значення рослин у процесах біоіндикації рівня забруднення важкими металами абіотичних компонентів урбо-екосистем за умов антропогенного навантаження [9; 13; 20]. Отримані експериментальні дані доводять, що біоіндикаційне значення мають і бріофіти, і судинні рослини, зокрема наземні рослини і гігрофіти, здатні до інтенсивного накопичення металів. Водночас встановлено відмінності у процесах акумуляції важких металів у рослинах різних таксономічних та екологічних груп на території м. Львова.

**Головні висновки.** У процесі досліджень концентрації важких металів у тканинах різних видів рослин, зібраних на території м. Львова, встановлено статистично вірогідні різниці між вмістом важких металів у гаметофітах мохів *Brachythecium rutabulum* і *Rhynchostegium murale*, зібраних у парковій частині міста і в районах з індустріальним і транспортним навантаженням; на прикладі території, прилеглої до Європейського маршруту Е40 та автозаправної станції «ОККО» у передмісті Львова, встановлено залежність рівня акумуляції металів у рослинах *Taraxacum officinale* і *Equisetum arvense* від відстані до джерел забруднення ґрунту. Досліджуючи водні об'єкти м. Львова, з'ясовано високий рівень акумуляції металів у рослинах-гігрофітах *Typha latifolia* і *Typha angustifolia* за умов розташування водойм на території,

прилеглий до автошляхів з інтенсивним транспортним рухом. Отримані дані свідчать про біоіндикаційні властивості досліджуваних видів рослин і можливість їхнього застосування під час здійснення екологічного моніторингу стану навколишнього середовища.

**Перспективи використання результатів дослідження.** Отримані в роботі результати щодо здатності бріофітів і судинних рослин до акумуляції важких металів мають перспективи використання в подальших екологічних дослідженнях із метою наукової оцінки екологічного стану атмосферного повітря, ґрунту і поверхневих водних об'єктів на території промислових міст. Здатність рослин *Taraxacum officinale*, *Equisetum arvense* і представників роду *Typha* до накопичення металів можна використовувати під час процесів фітореMediaції ґрунтів і водного середовища, забруднених важкими металами внаслідок техногенної діяльності.

## Література

1. Järup L. Hazards of heavy metal contamination. *Br. Med. Bull.* 2003. Vol. 68. N 1. P. 167–182.
2. Антоняк Г.Л., Багдай Т.В., Першин О.І. та ін. Метали у водних екосистемах та їх вплив на гідробіонти. *Біологія тварин.* 2015. Т. 17. № 2. С. 9–24.
3. Rahman Z., Singh V.P. The relative impact of toxic heavy metals (THMs) (arsenic (As), cadmium (Cd), chromium (Cr)(VI), mercury (Hg), and lead (Pb)) on the total environment: an overview. *Environ. Monit. Assess.* 2019. Vol. 191. N 7. P. 419.
4. Черниченко І.О., Литвиченко О.М., Соверткова Л.С., Цимбалюк С.М. Оцінка канцерогенного ризику для населення промислових міст України. *Environment & Health.* 2017. № 2. С. 17–22.
5. 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.
6. Raffetti E., Treccani M., Donato F. Cement plant emissions and health effects in the general population: a systematic review. *Chemosphere.* 2019. Vol. 218. P. 211–222.
7. Снітинський В.В., Антоняк Г.Л., Багдай Т.В. та ін. Сучасний стан та екологічні проблеми водних ресурсів України. *Журнал агробіології та екології.* 2014. Т. 4. № 1. С. 9–16.
8. Багдай Т.В., Панас Н.С., Антоняк Г.Л., Бубис О.Є. Біомоніторинг екологічного стану природних водойм. *Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій ім. С.З. Гжицького.* 2016. Т. 18. № 1 (65). Ч. 3. С. 190–194.
9. Macedo-Miranda G., Avila-Pérez P., Gil-Vargas P. et al. Accumulation of heavy metals in mosses: a biomonitoring study. *Springerplus.* 2016. Vol. 5. N 1. P. 715.
10. Kramer U. Metal hyperaccumulation in plants. *Annu. Rev. Plant Biol.* 2010. Vol. 61. P. 517–534.
11. Zhang K., Batterman S. Air pollution and health risks due to vehicle traffic. *Sci. Total Environ.* 2013. Vol. 450–451. P. 307–316.
12. Рибалова О.В., Дядченко А.В. Визначення рівня небезпеки забруднення атмосферного повітря з урахуванням стану надзвичайних ситуацій в Україні. *Екологія и промисленность.* 2016. № 2. С. 91–96.
13. Бойко М.Ф. Характеристика мохоподібних як індикаторів стану навколишнього середовища. *Чорноморський бот. журн.* 2010. Т. 6. № 1. С. 35–40.
14. Антоняк Г.Л., Мамчур З.І., Першин О.І. та ін. Біологічна доступність металів та їх акумуляція в тканинах рослин. *Вісник проблем біології і медицини.* 2015. Вип. 3. № 2. С. 11–16.
15. Chaplygin V., Minkina T., Mandzhieva S. et al. The effect of technogenic emissions on the heavy metals accumulation by herbaceous plants. *Environ. Monit. Assess.* 2018. Vol. 190. N 3. P. 124.
16. Turkyilmaz A., Sevik H., Isinkaralar K., Cetin M. Use of tree rings as a bioindicator to observe atmospheric heavy metal deposition. *Environ. Sci. Pollut. Res. Int.* 2019. Vol. 26. N 5. P. 5122–5130.
17. Мамчур З. Урбанофільні епіфітні мохи у м. Львові. *Вісник Львівського університету. Серія : Біологічна.* 2010. Вип. 54. С. 115–122.
18. 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*. *Journal of King Saud University – Science.* 2016. Vol. 28. N 2. P. 193–197.
19. 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.
20. Lu G., Wang B., Zhang C. et al. Heavy metals contamination and accumulation in submerged macrophytes in an urban river in China. *Int. J. Phytoremediation.* 2018. Vol. 20. N 8. P. 839–846.