



Матеріали XXII Міжнародної науково-практичної конференції
«Екологія. Людина. Суспільство» (м. Київ, Україна, 2021 р.)

Handbook of the XXII International Science Conference
«Ecology. Human. Society» (2021 Kyiv, Ukraine)

ISSN (Online) 2710-3315

<https://doi.org/10.20535/EHS.2021.232749>

УДК 550.47:504.5(477.411-751.2)

БІОІНДИКАЦІЯ ЗАБРУДНЕННЯ ПАРКОВИХ ЕКОСИСТЕМ МІСТА КИЄВА ВАЖКИМИ МЕТАЛАМИ

І.В. Кураєва, Т.О. Кошлякова, К.В. Вовк, К.С. Злобіна, Л.В. Лемеш

Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка НАН України

пр. Академіка Палладіна, 34, Київ, 03142, Україна

e-mail: tatianakoshliakova@gmail.com

Паркові зони є невід'ємним елементом ландшафту більшості міст світу. Вони являють собою своєрідні екосистеми, які за складом і структурою виконують проміжну функцію між природними лісами і міськими парками. Загально визнаним фактом є те, що паркові або «зелені зони» виконують природоохоронні, рекреаційні, культурно-оздоровчі та санітарно-гігієнічні функції, слугують місцями відпочинку населення [13].

У той же час, глобальна тенденція до підвищення температури атмосферного повітря, зростання концентрацій аеротехногенних викидів від автотранспорту, рекреаційне навантаження (що призводить до збільшення щільності ґрунтів), а також зменшення просторових меж міських деревних насаджень, викликають стресові явища і порушення фізіологічного стану рослин, сприяють їх ураженню шкідниками і хворобами [10]. Крім того, на динаміку розвитку паркових зон впливає інтродукція екзотичних видів чагарників або дерев, розширення міської забудови і транспортної інфраструктури [3].

Сучасні підходи до екологічної оцінки стану навколишнього середовища повинні бути орієнтовані, в першу чергу, на біотичні показники. Трансформоване під впливом інтенсивного техногенного навантаження міське середовище, в свою чергу, впливає на об'єкти біоти. Це дозволяє досить ефективно використовувати доволі широкий спектр її представників з метою біотестування та біоіндикації забруднень [5].

Одним з найважливіших напрямів екологічного моніторингу є біогеохімічні дослідження, зокрема фітоіндикація, що передбачає врахування ознак і властивостей рослин (на популяційному, видовому та фітоценотичному рівнях). Рослини є надійними і якісними біоіндикаторами забруднення навколишнього середовища різними токсикантами, оскільки вони змушені адаптуватися до стресу за допомогою фізіолого-біохімічних і анатомо-морфологічних перебудов організму.

Головною метою проведеного дослідження було оцінити ступінь забруднення важкими металами ґрунтів та рослинності окремих паркових екосистем м. Києва, встановити коефіцієнти біогеохімічного поглинання, інтенсивності біокумуляції, а також класу небезпеки забруднення досліджуваної території у відповідності з фітотоксикологічною класифікацією металів [1].

При виконанні дослідження у якості біоіндикаційного виду трав'янистої рослинності було обрано *Taraxacum officinale* Wigg. (кульбабу лікарську). Цей вибір обумовлений тим, що, по-перше, представники виду *Taraxacum officinale* Wigg. є багаторічним і дуже розповсюдженим видом. Вони зростають в зріджених мішаних і листяних лісах, як бур'ян на лісокультурних

площах, у розсадниках, парках і лісопарках, поширений на пустирях, поблизу житлових будинків, доріг, по узліссях, нерідко утворюючи значні за площею зарості. По-друге, цей вид відрізняється високою чутливістю до факторів забруднення [8, 11, 12, 14]. Загалом родина *Asteraceae* (айстрові) або *Compósitae* (складноцвітні), до якої належить *Taraxacum officinale* Wigg – це провідна група рослин, яка широко використовується при біомоніторингових дослідженнях, адже має здатність накопичувати широкий спектр важких металів [14]. У якості біоіндикатора забруднення навколишнього середовища кульбаба використовується при регіональних дослідженнях багатьох країн світу, зокрема у Болгарії, Польщі, Угорщині, США, Німеччині та Канаді [11].

У якості біоіндикаційного виду дерев'янистої рослинності було обрано *Tilia cordata* Mill. (липу серделисту). Ця рослина вважається специфічним фенотипічним біоіндикатором в умовах міських екосистем при великому техногенному навантаженні [6, 7]. Крім того, рослини роду *Tilia* традиційно популярні в Україні і широко використовуються в муніципальному озелененні [4].

Об'єктом дослідження є паркові екосистеми м. Києва, а саме екосистеми парку «Феофанія», парку Київського політехнічного інституту (Політехнічного парку), а також Маріїнського парку, що знаходяться на різній висоті над рівнем моря і мають різний кут нахилу схилів. Додатково залучалися дані щодо парку імені Пушкіна та парку «Нивки».

Предметом дослідження є вміст важких металів (Cu, Pb, Zn, Ni, Mn, Cr та Cd) у ґрунтах, трав'янистій та дерев'янистій рослинності в межах досліджуваних паркових екосистем м. Києва.

Основні польові роботи було проведено у першій половині червня 2018 року [3]. У досліджуваних парках (парк «Феофанія», Політехнічний парк, Маріїнський парк) було обрано по чотири пробних майданчики (А, В, С і D), розташованих на різній відстані від автомобільних доріг (5 м, 20 м, 100 м і 500 м відповідно) в напрямку до центральної частини паркової зони (де забруднення вважалось мінімальним). Ґрунт відбирався з глибини 0-5 см (кореневмісний шар). З кожного майданчика ґрунтовим буром було відібрано по 30 одиничних (точкових) проб масою 100-200 грам. Точкові проби відбиралися методом конверта. Також з кожного майданчика було відібрано по 30 зразків листя *Taraxacum officinale* Wigg. Зразки рослин відбирали у період їх цвітіння на різній відстані від автомобільних доріг. При відборі зразків *Tilia cordata* Mill. відбирали середню пробу з 30 листків дерев, що зростають у різних частинах досліджуваних парків. Відбір зразків деревенистої рослинності було проведено у липні 2020 року. Вимірювання вмісту важких металів Cu, Pb, Zn, Mn, Ni, Cr, Cd в зразках ґрунтів і листя досліджуваної рослинності виконано за допомогою методу мас-спектрометрії з індукційно зв'язаною плазмою на аналізаторі Element-2 (Німеччина) в Інституті геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка НАН України.

На першому етапі дослідження було надано фізико-хімічну характеристику ґрунтів трьох паркових екосистем (парк «Феофанія», Політехнічний парк, Маріїнський парк) (табл. 1). Досліджувані ґрунти характеризуються переважно слабо-кислими та нейтральними кислотно-лужними умовами (рН 6,4-7,6), вміст органічної речовини коливається в межах 2,3-6,4 %. Такі умови сприяють зниженню рухомості більшості мікроелементів, хоча вміст гумусу досить низький. Було з'ясовано, що сорбційна ємність (С_с) є найбільшою в межах Маріїнського парку, що вказує на кращі буферні властивості цих ґрунтів. У катіонному складі переважає обмінний кальцій (12-38 мг-екв/100 г), значною є також гідролітична кислотність (Н⁺ 1,4-8,4 мг-екв/100 г). Перехід важких металів у розчин менш ймовірний у ґрунтах, колоїди яких насичені Са²⁺. Такі колоїди краще агрегуються, є відносно механічно- та гідростійкими. Найбільший вміст обмінного кальцію виявлений в ґрунтах Маріїнського парку, що розвинуті

на лесових суглинках. Разом з тим, тут зафіксовано і високий вміст Mg^{2+} , що характерно для чорноземних ґрунтів. Вочевидь це пов'язано з високою домішкою привозних ґрунтів, що використовувалися при благоустрої території.

Таблиця 1.

Фізико-хімічні умови ґрунтів досліджених паркових екосистем м. Києва

Назва	C _{орг} , %	рН	СЄ	Обмінні катіони, мг-екв/100 г				
				H ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺
парк «Феофанія»	2,70	7,60	14,87	1,42	11,93	0,86	0,58	0,08
Політехнічний парк	2,28	6,82	25,44	8,51	16,22	0,31	0,3	0,1
Маріїнський парк	6,40	6,40	60,7	8,40	38,20	13,00	0,60	0,50

Примітка. C_{орг} – вміст органічного вуглецю, рН – кислотно-лужна характеристика водної витяжки ґрунту, СЄ – величина сорбційної ємності

На наступному етапі було визначено валовий вміст Cu, Pb, Zn, Mn, Ni, Cr у ґрунтах паркових екосистем, розраховано статистичні характеристики розподілу досліджуваних показників, виконано порівняння з фоновими та гранично допустимими концентраціями важких металів для ґрунтів урболандшафтів.

Найвищий рівень забруднення ґрунту важкими металами було виявлено на пробних майданчиках парків, розташованих поблизу автомобільних доріг і зупинок громадського транспорту. Найбільш забрудненими парком виявився Політехнічний, розташований на плато в центральній (піднесеній) частини міста. У ньому виявлені найвищі значення по Pb (коефіцієнт концентрації (Кк) відносно фонових значень становить 3,5-8,5) та Cu (Кк = 3,4-20). При цьому підвищений вміст важких металів в зразках з майданчика D, очевидно, пов'язаний з його розташуванням поблизу навчального корпусу та безпосередній близькості до верхньої паркової дороги. Найменш забрудненим є парк «Феофанія», що розташований поблизу міської межі і на деякій відстані від автомагістралі (найвищі коефіцієнти концентрацій відносно фонових значень зафіксовані для Pb (2-4) та Cu (1,5-3,4)).

Загалом, для ґрунтів усіх досліджених паркових зон характерне забруднення Pb та Cu, що спостерігається також в інших паркових екосистемах Києва [2]. Концентрація цих елементів у Політехнічному та Маріїнському парках у 2-4 рази перевищує гранично допустимі рівні.

Авторами також було визначено вміст Cu, Pb, Zn, Mn, Ni, Cr у листі *Taraxacum officinale* Wigg. в межах обраних паркових екосистем, розраховано статистичні характеристики розподілу досліджуваних показників, виконано порівняння з фоновими та гранично допустимими концентраціями важких металів для рослин урболандшафтів.

Так само, як і для ґрунтів, найвищі концентрації важких металів у листі *Taraxacum officinale* Wigg. було виявлено на пробних майданчиках парків (А), розташованих поблизу автомобільних доріг і зупинок громадського транспорту. Однак слід відмітити, що високі рівні металів, виявлені в зразках ґрунту, не завжди збігалися з їх найвищими рівнями в біомасі листя. На думку авторів, це пов'язано як з особливостями активності міграційних процесів рухомих форм важких металів в системі «ґрунт-рослина», так і з біологічними особливостями накопичення елементів самими рослинами. Водночас тенденція щодо зменшення концентрації важких металів у листі рослин у напрямку до центральної частини парку зберігається. Найвищі вмісти досліджуваних елементів у листі *Taraxacum officinale* Wigg. зафіксовані у

Політехнічному парку (Cu – 77; Pb – 11; Zn – 66 мг/кг поблизу просп. Перемоги), найменші – у Парку «Феофанія» (виключенням є Zn, вміст якого підвищується до 78 мг/кг поблизу автодороги). Маріїнський та Політехнічний парки характеризуються різким збільшенням вмісту Pb та Zn у листі досліджуваного виду поблизу автошляхів з інтенсивним рухом (вул. Грушевського та просп. Перемоги відповідно), що вказує на інтенсивний вплив автотранспорту на вміст цих елементів у рослинах.

З метою встановлення інтенсивності поглинання важких металів рослинами під впливом умов навколишнього середовища (властивостей ґрунту) було використано коефіцієнт біогеохімічного поглинання КБП (коефіцієнт біокумуляції) (рис. 1) [1].

Найвищі коефіцієнти біокумуляції листям *Taraxacum officinale* Wigg. виявлено для Cu (середній КБП = 0,37), Zn (0,73) і Mn (0,66) (рис. 1). Це пов'язано з їх високою біологічною значимістю. Низький рівень біокумуляції виявлено для Pb (0,07-0,17, виключення – Маріїнський парк поблизу вул. Грушевського). Слід зазначити, що серед усіх досліджених металів саме Pb чинить найбільшу токсичну дію на рослини.

В отриманих варіаціях біокумулятивної здатності листя *Taraxacum officinale* Wigg. до важких металів не прослідковується залежності відносно відстані до автошляхів та ступеню забруднення ґрунтів. Ймовірніше за все ці варіації пов'язані зі змінами доступності елементів для рослин внаслідок зміни кислотності ґрунтового розчину, а також із внутрішніми механізмами самих рослин, що підтримують стабільність мікроелементного складу організму в несприятливих умовах. Для Cr спостерігається чітка від'ємна кореляція між КБП у листі *Taraxacum officinale* Wigg. та концентрацією елементу у ґрунті (коефіцієнт кореляції (R) = - 0,83). Таким чином, зі збільшенням забруднення ґрунту Cr, інтенсивність його накопичення рослиною зменшується, спрацьовують її захисні функції.

У відповідності з фітотоксикологічною класифікацією металів за коефіцієнтом біогеохімічного поглинання [1] авторами було встановлено класи небезпеки відносно забруднення досліджуваної території важкими металами (табл. 2).

Таблиця 2.

Фітотоксикологічна класифікація металів за коефіцієнтом біогеохімічного поглинання у листі *Taraxacum officinale* Wigg. в межах досліджуваних паркових екосистем м. Києва

КБП	Класи небезпеки			
	I Інтенсивна	II Середня	III Помірна	IV Низька
	>2,24	2,23-1,52	1,51-0,8	<0,79
Н.в.	Н.в.	Zn*	Cu, Pb, Zn, Ni, Mn, Cr	

Примітка. КБП – коефіцієнт біогеохімічного поглинання, * – виключно в межах Маріїнського парку, Н.в. – не виявлено

За фітотоксикологічною класифікацією металів за коефіцієнтом біогеохімічного поглинання рослинами в межах досліджуваних паркових екосистем міста метали (Cu, Pb, Zn, Ni, Mn, Cr) відносяться переважно до елементів низького поглинання (IV класу небезпеки). Виключенням є лише Маріїнський парк, в межах якого Zn за величиною КБП належить до елементів помірного поглинання (III класу небезпеки). Для усієї досліджуваної території за середньоарифметичними значеннями КБП металів листям *Taraxacum officinale* Wigg. отримано наступні ряди інтенсивності біокумуляції: Mn>Zn>Cu>Ni>Pb>Cr (парк

«Феофанія»), Zn>Mn>Cu>Ni>Cr>Pb (Політехнічний парк), Zn>Mn>Cu>Ni>Cr>Pb (Маріїнський парк). Цікавим є повний збіг рядів інтенсивності біокумуляції важких металів листям досліджуваної трав'янистої рослинності для Політехнічного та Маріїнського парків. Ймовірніше за все, це пов'язано з їх розташуванням у центральній частині міста зі схожими природними умовами та інтенсивністю техногенного навантаження.

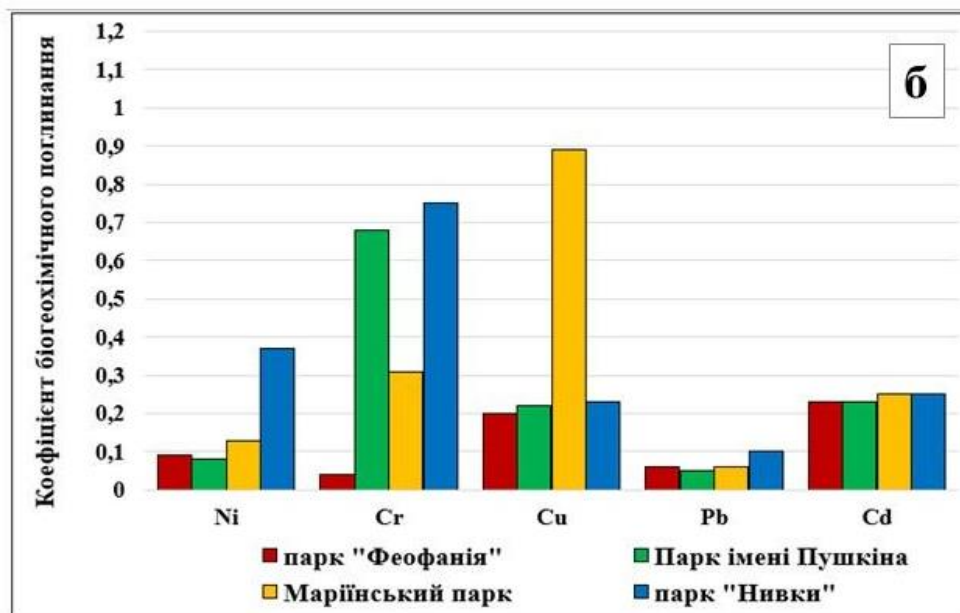
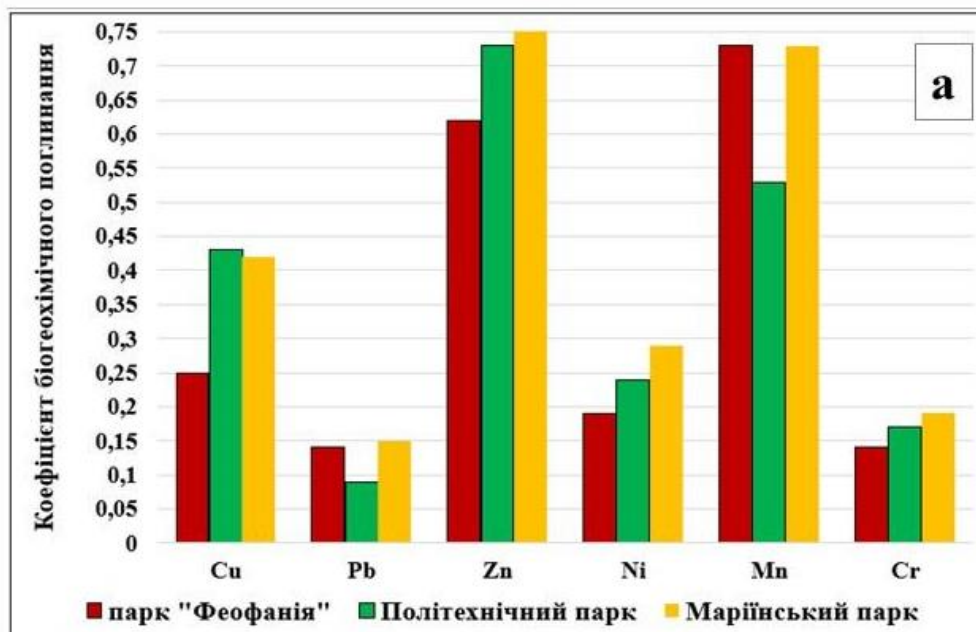


Рисунок. Діаграми усереднених показників коефіцієнтів біогеохімічного поглинання важких металів листям: а – *Taraxacum officinale* Wigg., б – *Tilia cordata* Mill.

При виконанні дослідження додатково було залучено дані щодо вмісту важких металів (Ni, Cr, Cu, Pb, Cd) у ґрунтах та листі представника дерев'янистої рослинності – *Tilia cordata Mill.* (липа серцелиста) в межах парку «Феофанія», парку імені Пушкіна, Маріїнського парку і парку «Нивки». Так само, як і для листя трав'янистої рослинності, для виду *Tilia cordata Mill.* було розраховано коефіцієнти біогеохімічного поглинання (рис. 1). Виявилося, що найвищі рівні металів, визначені у біомасі листків, зазвичай не співпадали з найвищими їх рівнями, визначеними у зразках ґрунтів. Можна припустити, що це пов'язано, в першу чергу, з тим, що рослини здатні акумулювати з ґрунтів лише водорозчинні, мобільні форми важких металів. Слід зазначити, що у даному дослідженні автори не вивчали поверхневе забруднення листкових пластинок за рахунок аеротехногенного перенесення. Найвищий вміст Cr було виявлено у зразках з парку імені Пушкіна – 30 мг/кг сухої маси (КБП = 0,68), Cu – в Маріїнському парку – 48 мг/кг (КБП = 0,89), концентрації Pb варіювали в межах 3-5 мг/кг, Ni – 2,6-7 мг/кг, Cd – 0,03-0,04 мг/кг.

Для досліджених паркових екосистем за середньоарифметичними значеннями КБП металів листям *Tilia cordata Mill.* отримано наступні ряди інтенсивності біокумуляції: Cd>Cu>Ni>Pb>Cr (парк «Феофанія»), Cr>Cd>Cu>Ni>Pb (парк імені Пушкіна), Cu>Cr>Cd>Ni>Pb (Маріїнський парк), Cr>Ni>Cd>Cu>Pb (парк «Нивки»).

На думку авторів, виявлений широкий діапазон інтенсивності біокумуляції важких металів відносно усієї сукупності зразків як трав'янистої, так і дерев'янистої рослинності, підтверджує принцип екологічної конгруентності (відповідності), згідно з якою живі складові досліджених екосистем виробили відповідні пристосування, скоординовані абіотичним середовищем [1].

Ґрунтуючись на вищевикладеному, можна стверджувати, що для паркових екосистем, розташованих у центральній частині міста поблизу автомобільних доріг, головним джерелом надходження важких металів у ґрунт та рослини є безпосередньо автомобільний транспорт, а основним шляхом міграції елементів є повітряні потоки.

Високі рівні забруднення ґрунтів Політехнічного та Маріїнського парків, на думку авторів, пов'язані також з високим вмістом привозних ґрунтів, що були використані при благоустрої цих паркових зон. Для цих ґрунтів характерною є висока сорбційна ємність та вміст обмінного кальцію. Ці показники надають ґрунтам кращих буферних властивостей, важкі метали затримуються і накопичуються у їх колоїдах, що у кінцевому рахунку перешкоджає переходу елементів у розчин.

Отримані результати підтвердили необхідність залучення біогеохімічних даних для екологічної оцінки ступеню забруднення міського середовища та ранньої діагностики негативних змін, коли у рослинах ще не проявилися морфологічні та анатомічні відхилення від норми.

Література:

1. Бондар О.І., Риженко Н.О. Фітотоксикологічна класифікація металів за інтенсивністю їх біокумуляції в умовах зелених паркових зон м. Києва. *Агроекологічний журнал*, № 3. С. 32–39, 2017, doi:10.33730/2077-4893.3.2017.219884

2. Вовк К.В. Геохімія мікроелементів в об'єктах довкілля Київської агломерації: автореф. дис. ... канд. геол. наук. Київ, 20 с., 2018
3. Небесний В.Б., Гродзинська Г.А., Самчук А.І. та ін. Спектрометричний експрес-метод біоіндикації паркових екосистем. *Nauka innov*, № 4. С. 78–86, 2020, doi: 10.15407/scin16.04.078
4. Олексійченко Н.О., Ліханов А.Ф. Варіабельність морфологічних і біохімічних ознак листків рослин роду *Tilia L.* в урбосередовищі. *Наукові праці Лісівничої академії наук України: збірник наукових праць*, № 14, С. 23–30, 2016.
5. Щур К.Ю., Гродзинська Г.А., Небесний В.Б. та ін. Біоіндикація стану техногенного забруднення м. Києва: методичні підходи, Київ: *Наш формат*, 122 с., 2016.
6. Aboal J.R., Fernandez J.A., Carballeira A. Oak leaves and pine needles as biomonitors of airborne trace elements pollution, *Environmental and Experimental Botany*, Vol. 51, No. 3, pp.215–225, 2004
7. Cicek A., Koparal A.S. Accumulation of sulfur and heavy metals in soil and tree leaves sampled from the surroundings of Tunçbilek Thermal Power Plant, *Chemosphere*. Vol. 57, No. 8, pp. 1031–1036, 2004
8. Degyrska A. An assessment of urban habitat contaminate on with selected heavy metals within the city of Katowice using the common dandelion (*Taraxacum officinale* Web.) as a bioindicator, *Environmental and Socio-economic Studies*. Vol. 1, No. 4, 2013. pp. 29–40, doi: 10.1515/environ-2015-0021
9. Dwyer J. F., Nowak D. J., Noble M. N. Sustaining urban forests, *Journal of Arboriculture*, Vol. 29, No. 1, pp. 49–55, 2003
10. Flint H. L. Plants showing tolerance of urban stress, *Journal of Environmental Horticulture*, Vol. 3, No. 2, pp. 85–89, 1985, doi: 10.24266/0738-2898-3.2.85
11. Giacomino Agnese, Malandrino Mery, Colombo Maria Laura et al. Metal content in dandelion (*Taraxacum Officinale*) leaves: influence of vehicular traffic and safety upon consumption as food, *Journal of Chemistry*, Vol. 6, pp. 1–9, 2016, doi: 10.1155/2016/9842987
12. Kleckerova A., Dočekalova H. Dandelion plants as a biomonitor of urban area contamination by heavy metals, *International Journal of Environmental Research and Public Health*, Vol. 8, No. 1, pp.157–164, 2014, <https://doi.org/10.22059/IJER.2014.705>
13. Konijnendijk C. C., Nilsson K., Randrup T.B., Schipperijn J. *Urban Forests and Trees*, Berlin: *Springer*, 520 p., 2005, doi: 10.1007/3-540-27684-X
14. Świercz Anna, Zajęcka Ewelina. Bioaccumulation of copper, lead and zinc by *Taraxacum Officinale* agg. growing on urban soils of different land-use types, *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*, Vol. 4, No. 1, pp. 1373–1385, 2017, doi: 10.14597/infraeco.2017.4.1.105