

<https://doi.org/10.15407/mineraljournal.43.02.058>
УДК 550.47:504.5(477.411-751.2)

І.В. Кураєва, д-р геол. наук, проф., зав. від.

Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка НАН України
03142, м. Київ, Україна, пр-т Акад. Палладіна, 34

E-mail: KI4412674@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0003-3113-7782>

Т.О. Кошлякова, канд. геол. наук, старш. наук. співроб.

Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка НАН України
03142, м. Київ, Україна, пр-т Акад. Палладіна, 34

E-mail: tatianakoshliakova@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0001-8551-3531>

К.В. Вовк, канд. геол. наук, заст. дир.

Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення
ім. М.П. Семененка НАН України
03142, м. Київ, Україна, пр-т Акад. Палладіна, 34

E-mail: vovkkaterina90@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0001-5076-260X>

К.С. Злобіна, канд. геол. наук, наук. співроб.

Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка НАН України
03142, м. Київ, Україна, пр-т Акад. Палладіна, 34

E-mail: ecaterinka@ukr.net; <https://orcid.org/0000-0001-8823-4642>

ОСОБЛИВОСТІ РОЗПОДІЛУ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ У КОМПОНЕНТАХ ДОВКІЛЛЯ ПАРКОВИХ УРБОЛАНДШАФТІВ МІСТА КИЄВА

Наведено результати досліджень щодо впливу міського середовища на компоненти довкілля паркових екосистем Києва. Серед представників рослинності як індикаційних видів обрано *Taraxacum officinale* Wigg. (кульбабу лікарську) та *Tilia cordata* Mill. (липу серделисту). Здійснено вимірювання вмісту важких металів (Cu, Pb, Zn, Ni, Mn, Cr та Cd) у зразках ґрунту та листя рослин у межах екосистем парків "Феофанія", Київського політехнічного інституту, Маріїнського, імені Пушкіна та "Нивки". Найвищий рівень забруднення ґрунтів важкими металами виявлено в межах майданчиків парків, розташованих поблизу автомобільних доріг і зупинок громадського транспорту. Найзабрудненішим парком виявився Політехнічний, а найменш забрудненим — "Феофанія". Високі рівні металів, виявлених у зразках ґрунту, не завжди збігалися з їх найвищими рівнями в біомасі листя досліджуваних рослин. З'ясовано, що за фітотоксикологічною класифікацією металів за коефіцієнтом біологічного поглинання (КБП) рослинами у межах досліджуваних паркових екосистем міста Києва Cu, Pb, Zn, Ni, Mn та Cr становлять переважно елементи низького поглинання (IV класу небезпеки) за винятком Маріїнського парку, в межах якого Zn, за величиною КБП, належить до елементів помірного поглинання (III класу небезпеки). Отримані авторами ряди інтенсивності біологічного поглинання металів рослинами показали достатньо широкий діапазон для різних паркових екосистем, що підтверджує принцип екологічної конгруентності (відповідності), згідно з якою живі складові досліджених екосистем виробили відповідне пристосування, скоординоване абіотичним середовищем. З метою виявлення додаткових шляхів міграції важких металів до екосистеми парку "Феофанія" залучено гідрохімічні дані щодо першого від поверхні водонесного горизонту, поширеного в межах досліджуваної території. Висунуто припущення, що підвищені, порівняно з фоновими, концентрації Cu, Pb, Zn, Ni та Mn у ґрунтах парку "Феофанія", пов'язані передусім з Пирогівським звалищем побутових відходів, а підземні води, що розвантажуються у паркові ставки, є основним шляхом міграції полютантів до компонентів природного середовища, зокрема до системи "ґрунт — рослина". Отримані авторами результати підтвердили необхідність залучення біогеохімічних даних для екологічної оцінки міського середовища та ранньої діагностики негативних змін, коли у рослинах ще не проявилися морфологічні та анатомічні відхилення від норми.

Ключові слова: біоіндикація, біологічне поглинання, паркові екосистеми, важкі метали, *Taraxacum officinale* Wigg., *Tilia cordata* Mill.

Цитування: Кураєва І.В., Кошлякова Т.О., Вовк К.В., Злобіна К.С. Особливості розподілу важких металів у компонентах довкілля паркових урболандшафтів міста Києва. *Мінерал. журн.* 2021. 43, № 2. С. 58—73. <https://doi.org/10.15407/mineraljournal.43.02.058>

Вступ. Паркові зони здебільшого є невід'ємним елементом ландшафту міст світу. Вони є своєрідними екосистемами, які за складом і структурою виконують проміжну функцію між природними лісами і міськими парками. Варто зауважити, що паркові або "зелені зони" виконують природоохоронні, рекреаційні, культурно-оздоровчі та санітарно-гігієнічні функції, слугують місцем відпочинку населення [6, 18].

Водночас, 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 [15]. Окрім того, на динаміку розвитку паркових зон впливає інтродукція екзотичних видів чагарників або дерев, розширення міської забудови і транспортної інфраструктури [14].

Сучасні підходи до екологічної оцінки стану навколишнього середовища мають бути орієнтовані, передусім, на біотичні показники. Насамперед трансформоване під впливом інтенсивного техногенного навантаження міське середовище впливає на об'єкти біоти. Це дає змогу ефективно використовувати доволі широкий спектр її представників з метою біотестування та біоіндикації забруднень.

Одним з важливих напрямів екологічного моніторингу є біогеохімічні дослідження, зокрема фітоіндикація, що передбачає врахування змін ознак і властивостей рослин (на популяційному, видовому та фітоценотичному рівнях). Рослини є надійними і якісними біоіндикаторами забруднення довкілля різними токсикантами, оскільки вони змушені адаптуватися до стресу за допомогою фізіолого-біохімічних і анатомо-морфологічних перебудов організму. На даний час є актуальним питання розроблення експрес-методів діагностики стану урбанізованого навколишнього середовища з використанням деяких видів рослин і рослинних спільнот як адекватних біоіндикаторів.

Головною метою здійсненого дослідження було оцінити ступінь забруднення важкими металами ґрунтів та рослинності деяких паркових екосистем Києва, встановити інтенсивність та коефіцієнти біологічного поглинання, а також класу небезпеки забруднення дослід-

жуваної території у відповідності з фітотоксикологічною класифікацією металів [1].

Під час виконання дослідження як біоіндикаційний вид трав'янистої рослинності обрано *Taraxacum officinale* Wigg. (кульбабу лікарську). Вибір обумовлений значною поширеністю цієї рослини в межах міста, а також її високою чутливістю до факторів забруднення [13, 16, 17, 19, 20]. Загалом родина *Asteraceae* (айстрові) або *Compositae* (складноцвіті), до якої належить *Taraxacum officinale* Wigg. — це провідна група рослин, яка широко використовується у ході біомоніторингових досліджень, адже має здатність накопичувати широкий спектр важких металів [19]. Як біоіндикатор забруднення навколишнього середовища кульбаба використовується під час регіональних досліджень у багатьох країнах світу, зокрема у Болгарії, Польщі, Угорщині, США, Німеччині та Канаді [16].

Як біоіндикаційний вид деревної рослинності обрано *Tilia cordata* Mill. (липу серцелисту), яку вважають специфічним фенотипічним біоіндикатором в умовах міських екосистем за великого техногенного навантаження [11, 12]. Окрім того, рослини роду *Tilia* традиційно популярні в Україні і їх широко використовують у муніципальному озелененні [9].

Об'єктом дослідження є паркові екосистеми Києва — "Феофанія", "Політехнічний", "Маріїнський", "Пушкіна", "Нивки". Картографічна карта розміщення досліджених паркових екосистем представлена на рис. 1.

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

Методика досліджень. Відбір проб ґрунту виконано за вимогами нормативного документу ДСТУ ISO 10381-2:2004 "Якість ґрунту. Відбирання проб. Ч. 2. Настанови з методів відбирання проб". Основні польові роботи здійснено у першій половині червня 2018 р. [8]. У досліджуваних парках (парк "Феофанія", Політехнічний парк, Маріїнський парк) обрано по чотири пробних майданчики (A, B, C 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 вважалося мінімальним). Ґрунт відбирався з глибини 0—5 см (кореневмісний шар). З кожного майданчика ґрунтовим буром відібрано по 30 одиночних (точкових) проб масою 100—200 г. Точкові проби від-

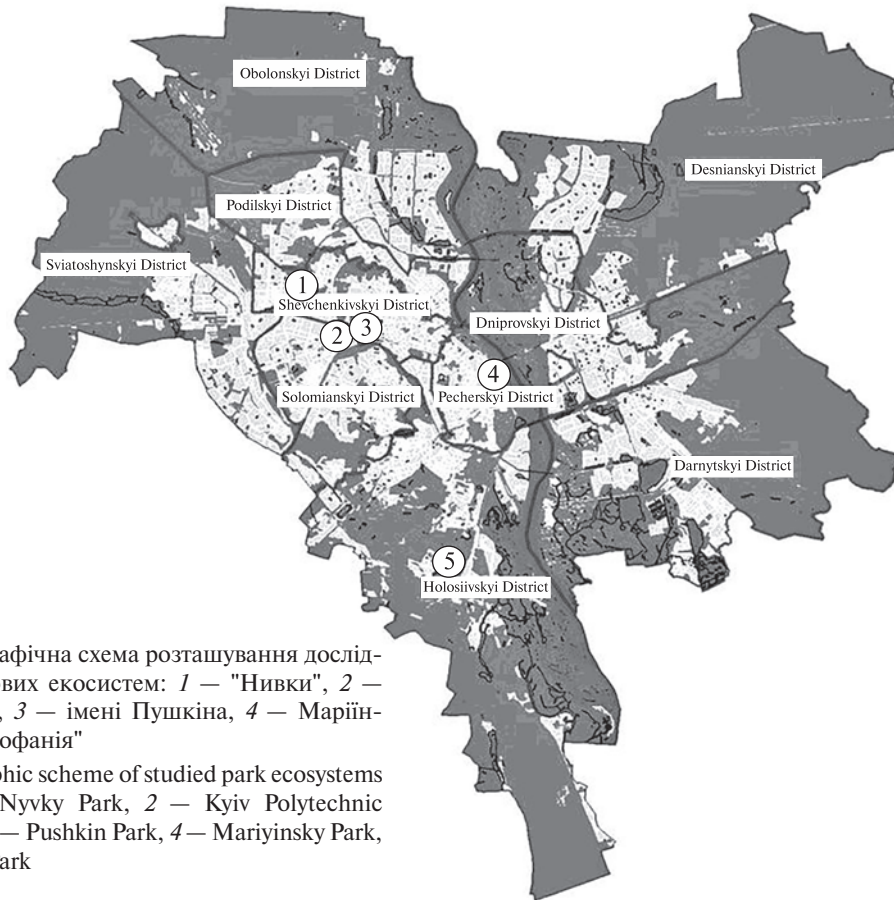


Рис. 1. Картографічна схема розташування досліджуваних паркових екосистем: 1 — "Нивки", 2 — Політехнічний, 3 — імені Пушкіна, 4 — Маріїнський, 5 — "Феофанія"

Fig. 1. Cartographic scheme of studied park ecosystems location: 1 — Nyvky Park, 2 — Kyiv Polytechnic Institute Park, 3 — Pushkin Park, 4 — Mariyinsky Park, 5 — Feofaniya Park

биралися за допомогою методу конверта. З кожного майданчика відібрано по 30 зразків листя *Taraxacum officinale* Wigg. у період їх цвітіння на різній відстані від автомобільних доріг. У лабораторних умовах листя промивали протягом 15 хв дистильованою, а потім — деіонізованою водою. Це дало можливість визначити тканинне (внутрішнє) накопичення рослиною досліджуваних елементів. Процес підготовки проб до аналізу полягав у їх висушуванні до постійної маси. Під час відбору зразків *Tilia cordata* Mill. готували середню пробу з 30 листків дерев, що ростуть у різних частинах досліджуваних парків. Відбір зразків деревної рослинності виконано у липні 2020 р.

Вимірювання вмісту важких металів Cu, Pb, Zn, Mn, Ni, Cr, Cd у зразках ґрунтів і листків досліджуваної рослинності виконано за допомогою методу маспектрометрії з індукційно-зв'язаною плазмою на аналізаторі *Element-2* (Німеччина) в Інституті геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка НАН України. Для визначення валового вмісту елементів у аналізованих зразках використовували розчинення проб трьома кислотами HF, HNO₃,

H₂SO₄ [5] (всі кислоти марки *supra pure* фірми *MERCK*) у мікрохвильовій печі *ETNOS* (виробник — *MILESTONE*).

Природні умови території досліджень. Територія Києва розташована на межі фізико-географічних зон (змішаний ліс і лісостеп) та на стику трьох орографічних зон, що і обумовлює специфічність його рельєфу [2]. Центральна, південна і південно-західна частини міста розташовані в межах Придніпровської пластової височини (170—197 м), яка полого нахилена на схід. Її поверхня складена породами лесової формації. Північна і північно-західна частини міста розташовані в межах Поліської низовини і представляють собою слабко горбисту моренно-зандрову рівнину. Східна (лівобережна) частина міста розташована в межах Придніпровської низовини, яка є акумулятивною алювіальною рівниною, складену потужною (до 62 м) серією різновікових накладених чи притулених алювіальних терас. Особливості рельєфу території досліджень насамперед впливають на міграцію мікроелементів у результаті дії гравітаційних сил. Геоморфологічні особливості рельєфу, з одного боку, сприяють

локалізації забруднення, з іншого, — переносу на значні відстані. Він також визначає просторовий розподіл і характер ґрунтів, поверхневих і підземних вод, рослинного покриву.

Для ґрунтів, поширених у межах досліджуваної території, підстиляючими породами є лесоподібні суглинки, моренно-зандрові утворення та алювіальні відклади р. Дніпро, які сформувалися з гранітоїдного матеріалу, привнесеного останнім зледенінням. Ґрунтовий покрив Києва є досить строкатим, зважаючи на різноманітність природних умов та інтенсивний вплив людини. Північним околицям міста, що тяжіють до Полісся, властиві дерново-середньопідзолисті супіщані ґрунти, сформовані переважно під хвойними лісами, в заплавах річок — торф'яно-болотні. На правобережній високій частині міста панують темносірі опідзолені та сірі лісові ґрунти, а також лесові утворення. Ґрунти Придніпровської лівобережної низовини переважно дерново-оглеєні, дерново-слабopідзолисті піщані та глинисто-піщані, трапляються слабо гумусові піски, торф'яно-болотні ґрунти та торф'яники. Природний ґрунтовий покрив на території Києва зберігся лише частково в лісопаркових зонах та в незабудованих частинах заплави річок та островах. Характерними є значна кількість привозних чорноземів і торф'яників для формування газонів та паркових зон. Під час забудови низьких лівобережних частин міста створювалися значні площі намівних ґрунтів [2].

З точки зору ландшафтно-геохімічних умов, на території Києва спостерігається зчленування двох великих природних ландшафтних зон — зони поліських ландшафтів кислого класу південно-тайгового сімейства тайгового типу та зони перехідних ландшафтів гідрокар-

бонатно-кальцієвого класу східноєвропейського сімейства типу широколистяних лісів. На природні ландшафтні зони накладаються культурні ландшафти — урбанізовані та сільськогосподарські площі, а також промислові зони.

Природний рослинний світ Києва суттєво змінений діяльністю людини. Внаслідок інтенсивної забудови і асфальтування території відбулося значне збіднення видового складу рослинності, домінують зовсім інші види, ніж у природних угрупованнях. У межах міста ліси та інші лісовкриті площі займають 33,9 тис. га або 40,6 % від загальної площі. Здебільшого вони належать до складу трьох лісопаркових господарств — Дарницького, Святошинського та "Конча-Заспа". Але, на жаль, простежується тенденція до зменшення кількості зелених насаджень міста через інтенсивну забудову [2].

Політехнічний парк розташований у центральній частині міста і має загальну площу 13,5 га. Так само, як і парки "Феофанія", Маріїнський, імені Пушкіна та "Нивки", геоморфологічно належить до Придніпровської пластової височини. Парк є пам'яткою садово-паркового мистецтва місцевого значення, його закладено 1903 р. Він має прямокутну форму, витягнуту із заходу на схід. Поширені в межах парку ґрунти — дерново-підзолисті та деревно-оглеєні (клас ландшафту — кислий та кислий глейовий [7]).

Найстаріший парк України — Маріїнський закладено 1874 р. Він є пам'яткою садово-паркового мистецтва загальнодержавного значення і належить до Паркового кільця Києва. Розташований у центральній частині міста уздовж Дніпровських пагорбів із загальною площею 14,6 га. Поширені в межах парку ґрунти є привізними — чорноземи типові (клас ландшафту — гідрокарбонатно-кальцієвий [7]).

Таблиця 1. Фізико-хімічні умови ґрунтів паркових екосистем Києва

Table 1. Physicochemical conditions of soils of Kyiv parks ecosystems

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

Примітка. C_{орг} — вміст органічного вуглецю, pH — кислотнo-лужна характеристика водної витяжки ґрунту, СЄ — сорбційна ємність.

Note. C_{орг} — organic carbon content, pH — acid-base characteristics of soil water extract, СЄ — sorption capacity value.

Таблиця 2. Валовий вміст важких металів у ґрунтах досліджуваних паркових екосистем Києва

Table 2. Heavy metals gross content in soils of studied park ecosystems of Kyiv city

Елемент	Валовий вміст елемента в ґрунті	Пробний майданчик			
		A	B	C	D
<i>Парк "Феофанія"</i>					
Cu	$X_{\text{сеп}}$, мг/кг	52	41	39	23
	$(X_{\text{max}} - X_{\text{min}})$, мг/кг	21–63	16–72	14–58	8–56
	V , %	21	18	20	38
	SD , мг/кг	10,3	7,3	8,1	7,6
	ФОН [4], мг/кг	16	16	16	16
Pb	$X_{\text{сеп}}$, мг/кг	48	41	33	25
	$(X_{\text{max}} - X_{\text{min}})$, мг/кг	41–64	33–51	24–38	16–26
	V , %	13	13	13	14
	SD , мг/кг	6,5	5,1	3,9	2,8
	ФОН [4], мг/кг	10	10	10	10
Zn	$X_{\text{сеп}}$, мг/кг	48	77	32	28
	$(X_{\text{max}} - X_{\text{min}})$, мг/кг	29–53	46–81	19–43	14–33
	V , %	34	35	39	32
	SD , мг/кг	16,7	27,3	13,8	9,3
	ФОН [4], мг/кг	30	30	30	30
Ni	$X_{\text{сеп}}$, мг/кг	40	22	24	21
	$(X_{\text{max}} - X_{\text{min}})$, мг/кг	25–51	13–25	10–26	15–28
	V , %	17	16	17	21
	SD , мг/кг	6,7	3,1	3,4	4,2
	ФОН [4], мг/кг	7	7	7	7
Mn	$X_{\text{сеп}}$, мг/кг	618	304	355	301
	$(X_{\text{max}} - X_{\text{min}})$, мг/кг	367–796	184–398	214–464	158–425
	V , %	20	20	20	25
	SD , мг/кг	119,8	59,6	69,1	74,1
	ФОН [4], мг/кг	450	450	450	450
Cr	$X_{\text{сеп}}$, мг/кг	56	41	35	19
	$(X_{\text{max}} - X_{\text{min}})$, мг/кг	28–70	23–56	17–42	11–28
	V , %	33	33	33	34
	SD , мг/кг	16,6	13	9,8	6,7
	ФОН [4], мг/кг	20	20	20	20
<i>Політехнічний парк</i>					
Cu	$X_{\text{сеп}}$, мг/кг	307	99	64	51
	$(X_{\text{max}} - X_{\text{min}})$, мг/кг	120–450	40–220	24–130	20–80
	V , %	48	48	48	34
	SD , мг/кг	144,4	48,5	29,4	24,1
	ФОН [4], мг/кг	16	16	16	16
Pb	$X_{\text{сеп}}$, мг/кг	102	68	44	81
	$(X_{\text{max}} - X_{\text{min}})$, мг/кг	85–160	49–82	30–53	30–100
	V , %	12	12	12	12
	SD , мг/кг	12,4	7,4	4,9	9,9
	ФОН [4], мг/кг	10	10	10	10
Zn	$X_{\text{сеп}}$, мг/кг	62	59	44	38
	$(X_{\text{max}} - X_{\text{min}})$, мг/кг	33–79	30–98	25–59	17–42
	V , %	27	34	29	35
	SD , мг/кг	16,1	20,1	13,6	13,2
	ФОН [4], мг/кг	30	30	30	30

Елемент	Валовий вміст елемента в ґрунті	Пробний майданчик			
		A	B	C	D
Ni	$X_{\text{сеп}}$, мг/кг	34	25	9	21
	$(X_{\text{max}} - X_{\text{min}})$, мг/кг	20–38	15–26	8–14	12–24
	V , %	19	20	21	18
	SD , мг/кг	5,8	3,9	2,1	3,5
	$\Phi_{\text{ОН [4]}}$, мг/кг	7	7	7	7
Mn	$X_{\text{сеп}}$, мг/кг	525	361	311	354
	$(X_{\text{max}} - X_{\text{min}})$, мг/кг	310–670	200–420	175–400	180–380
	V , %	20	20	20	18
	SD , мг/кг	102,4	71,5	61,1	63,2
	$\Phi_{\text{ОН [4]}}$, мг/кг	450	450	450	450
Cr	$X_{\text{сеп}}$, мг/кг	82	13	27	36
	$(X_{\text{max}} - X_{\text{min}})$, мг/кг	45–110	8–22	17–42	28–63
	V , %	25	29	24	28
	SD , мг/кг	19,8	2,9	7,2	9,9
	$\Phi_{\text{ОН [4]}}$, мг/кг	20	20	20	20
<i>Маріїнський парк</i>					
Cu	$X_{\text{сеп}}$, мг/кг	131	114	72	37
	$(X_{\text{max}} - X_{\text{min}})$, мг/кг	73–135	68–137	41–117	33–56
	V , %	27	26	48	48
	SD , мг/кг	35,2	30,7	35,6	18,4
	$\Phi_{\text{ОН [4]}}$, мг/кг	16	16	16	16
Pb	$X_{\text{сеп}}$, мг/кг	108	63	46	27
	$(X_{\text{max}} - X_{\text{min}})$, мг/кг	36–155	50–76	22–70	18–45
	V , %	13	13	13	15
	SD , мг/кг	13,8	7,8	6,4	2,9
	$\Phi_{\text{ОН [4]}}$, мг/кг	10	10	10	10
Zn	$X_{\text{сеп}}$, мг/кг	79	45	36	42
	$(X_{\text{max}} - X_{\text{min}})$, мг/кг	40–83	36–52	10–41	34–69
	V , %	33	38	33	36
	SD , мг/кг	25,7	17,1	11,8	14,8
	$\Phi_{\text{ОН [4]}}$, мг/кг	30	30	30	30
Ni	$X_{\text{сеп}}$, мг/кг	97	30	29	12
	$(X_{\text{max}} - X_{\text{min}})$, мг/кг	80–120	24–74	35–69	8–28
	V , %	18	18	16	19
	SD , мг/кг	17,5	5,4	4,9	1,9
	$\Phi_{\text{ОН [4]}}$, мг/кг	7	7	7	7
Mn	$X_{\text{сеп}}$, мг/кг	426	359	354	293
	$(X_{\text{max}} - X_{\text{min}})$, мг/кг	290–550	240–500	250–550	200–500
	V , %	21	19	21	21
	SD , мг/кг	82,4	65,1	72,8	61,8
	$\Phi_{\text{ОН [4]}}$, мг/кг	450	450	450	450
Cr	$X_{\text{сеп}}$, мг/кг	41	13	37	20
	$(X_{\text{max}} - X_{\text{min}})$, мг/кг	10–65	8–60	9–58	15–55
	V , %	26	25	26	27
	SD , мг/кг	10,4	2,5	7,9	5,3
	$\Phi_{\text{ОН [4]}}$, мг/кг	20	20	20	20

П р и м і т к а. $X_{\text{сеп}}$ — середнє арифметичне значення валового вмісту елемента в ґрунті, $(X_{\text{max}} - X_{\text{min}})$ — розмах варіації, V — коефіцієнт варіації, SD — середньоквадратичне відхилення, загальна кількість проб (N) = 360.

Н о т е. $X_{\text{сеп}}$ — arithmetic mean value of the element gross content in soil, $(X_{\text{max}} - X_{\text{min}})$ — scope of variation, V — variation coefficient, SD — standard deviation, total number of samples (N) = 360.

Парк "Феофанія" закладено у 1972 р. Він є пам'яткою садово-паркового мистецтва загальнодержавного значення, а також садово-парковим комплексом Національної академії наук України. Розташований у південній частині міста займає площу до 150 га. Здебільшого це природний лісовий масив, лише у центральній частині перетворений на парк у регулярному стилі. У ландшафтному відношенні переважають долинно-балочні та яружно-балочні елементи, перепад висот становить 66 м. Поширені в межах парку ґрунти — світло-сірі лісові (клас ландшафту — кислий [7]). Природна рослинність представлена, переважно, грабово-дубовими та грабовими лісами, а також перезволоженими масивами вільхи клейкої; штучні насадження — сосняком, плодовим садом і парковою композицією з різноманітних декоративних деревно-чагарникових порід. У центральній частині організовано п'ять штучних ставків — важливий фактор формування мікрокліматичних умов.

Парк імені Пушкіна закладено 1899 р., займає площу 19,45 га. Поширені в межах парку ґрунти — дерново-підзолисті та дерново-оглеєні (клас ландшафту — кислий та кислий глейовий [7]).

Парк "Нивки" закладено 1972 р. Його східна частина віднесена до загальнодержавних природно-заповідних територій як пам'ятка садово-паркового мистецтва площею у 46,1 га. Поширені в межах парку ґрунти — дерново-підзолисті та дерново-оглеєні (клас ландшафту — кислий та кислий глейовий [7]).

Результати та обговорення. На першому етапі дослідження надано фізико-хімічну характеристику ґрунтів трьох паркових екосистем (парк "Феофанія", Політехнічний парк, Маріїнський парк) (табл. 1). Досліджувані ґрунти характеризуються переважно слабко-кислими та нейтральними кислотно-лужними умовами (рН 6,4—7,6), вміст органічної речовини коливається в межах 2,3—6,4 %. Такі умови здебільшого сприяють зниженню рухомості мікроелементів, хоча вміст гумусу досить низький. З'ясовано, що сорбційна ємність (СЄ) 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 (H^+ 1,4—8,4 мг-екв/100 г). Перехід важких металів у розчин менш ймовірний у ґрунтах, колоїди яких насичені Ca^{2+} .

Такі колоїди краще агрегуються, є відносно механічно- та гідростійкими. Найбільший вміст обмінного кальцію виявлений у ґрунтах Маріїнського парку, що розвинуті на лесових суглинках. Водночас тут зафіксовано і високий вміст Mg^{2+} , що характерно для чорноземних ґрунтів. Вочевидь це пов'язано з високою домішкою привозних ґрунтів, що використовувалися під час благоустрою території.

На наступному етапі визначено валовий вміст Cu, Pb, Zn, Mn, Ni, Cr у ґрунтах паркових екосистем, розраховано статистичні характеристики розподілу досліджуваних показників, виконано порівняння з фоновими концентраціями важких металів для ґрунтів урболандшафтів (табл. 2).

Найвищий рівень забруднення ґрунту важкими металами виявлено на пробних майданчиках парків (А), розташованих поблизу автомобільних доріг і зупинок громадського транспорту. Найзабрудненішим парком виявився Політехнічний, розташований на плато в центральній (піднесеній) частині 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). Водночас підвищений вміст важких металів у 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 на 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.

Ми також визначили вміст Cu, Pb, Zn, Mn, Ni, Cr у листках *Taraxacum officinale* Wigg. у межах обраних паркових екосистем, розраховали статистичні характеристики розподілу досліджуваних показників, виконали порівняння з гранично допустимими концентраціями важких металів для рослин урболандшафтів (табл. 3).

Так само, як і для ґрунтів, найвищі концентрації важких металів у листках *Taraxacum offi-*

Таблиця 3. Вміст важких металів у листках *Taraxacum officinale* Wigg. досліджуваних паркових екосистем Києва
 Table 3. Heavy metals content in *Taraxacum officinale* Wigg. leaves of studied park ecosystems of Kyiv city

Елемент	Вміст елемента в листі	Пробний майданчик			
		A	B	C	D
<i>Парк "Феофанія"</i>					
Cu	$X_{\text{сеп}}$, мг/кг	15	10	8	6
	$(X_{\text{max}} - X_{\text{min}})$, мг/кг	7–21	8–22	5–15	5–18
	V, %	22	22	28	22
	SD, мг/кг	3,3	2,2	2,8	1,3
	Фон [17]	4,0–21,6	4,0–21,6	4,0–21,6	4,0–21,6
Pb	$X_{\text{сеп}}$, мг/кг	8	7	4	3
	$(X_{\text{max}} - X_{\text{min}})$, мг/кг	3–12	3–15	2–8	2–10
	V, %	30	37	40	37
	SD, мг/кг	2,4	2,6	1,6	1,1
	Фон [17]	1,6–10	1,6–10	1,6–10	1,6–10
Zn	$X_{\text{сеп}}$, мг/кг	78	26	8	8
	$(X_{\text{max}} - X_{\text{min}})$, мг/кг	41–83	23–31	7–15	7–12
	V, %	20	20	19	19
	SD, мг/кг	15,4	5,1	1,6	1,5
	Фон [17]	22–230	22–230	22–230	22–230
Ni	$X_{\text{сеп}}$, мг/кг	10	4	4	3
	$(X_{\text{max}} - X_{\text{min}})$, мг/кг	6–15	2–8	1–10	1–6
	V, %	36	33	28	30
	SD, мг/кг	3,6	1,3	1,1	0,9
	Фон [17]	Н. в.	Н. в.	Н. в.	Н. в.
Mn	$X_{\text{сеп}}$, мг/кг	405	211	256	250
	$(X_{\text{max}} - X_{\text{min}})$, мг/кг	300–520	180–280	170–300	160–280
	V, %	32	32	32	33
	SD, мг/кг	129,8	64,3	79,5	82,1
	Фон [17]	18–142	18–142	18–142	18–142
Cr	$X_{\text{сеп}}$, мг/кг	7	5	4	4
	$(X_{\text{max}} - X_{\text{min}})$, мг/кг	5–11	4–10	1–8	2–8
	V, %	30	30	28	23
	SD, мг/кг	2,1	1,5	1,1	0,9
	Фон [17]	0,2–4,8	0,2–4,8	0,2–4,8	0,2–4,8
<i>Політехнічний парк</i>					
Cu	$X_{\text{сеп}}$, мг/кг	77	47	24	31
	$(X_{\text{max}} - X_{\text{min}})$, мг/кг	21–100	20–80	15–50	18–45
	V, %	22	21	22	20
	SD, мг/кг	17,5	10,7	6,5	5,9
	Фон [17]	4,0–21,6	4,0–21,6	4,0–21,6	4,0–21,6
Pb	$X_{\text{сеп}}$, мг/кг	11	5	4	7
	$(X_{\text{max}} - X_{\text{min}})$, мг/кг	6–14	2–9	2–6	2–9
	V, %	42	36	33	40
	SD, мг/кг	4,2	1,8	1,3	2,8
	Фон [17]	1,6–10	1,6–10	1,6–10	1,6–10
Zn	$X_{\text{сеп}}$, мг/кг	66	41	19	28
	$(X_{\text{max}} - X_{\text{min}})$, мг/кг	54–75	27–82	15–34	11–31
	V, %	19	20	19	20
	SD, мг/кг	12,8	8,1	3,5	5,5
	Фон [17]	22–230	22–230	22–230	22–230

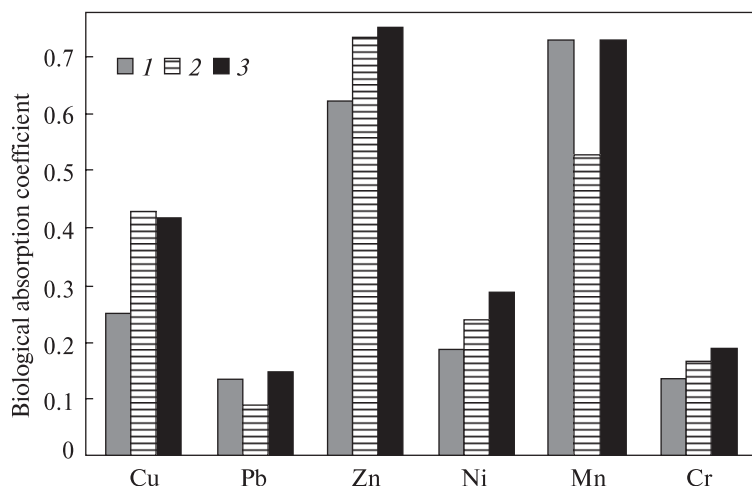
Елемент	Вміст елемента в листі	Пробний майданчик			
		A	B	C	D
Ni	$X_{\text{сеп}}$, мг/кг	8	5	3	4
	$(X_{\text{max}} - X_{\text{min}})$, мг/кг	3—13	2—8	2—6	2—7
	V , %	33	34	30	33
	SD , мг/кг	2,6	1,7	0,9	1,3
	Фон [17]	Н. в.	Н. в.	Н. в.	Н. в.
Mn	$X_{\text{сеп}}$, мг/кг	328	181	156	173
	$(X_{\text{max}} - X_{\text{min}})$, мг/кг	160—370	170—190	140—170	150—200
	V , %	32	31	31	30
	SD , мг/кг	96,3	55,3	47,8	51,2
	Фон [16]	18—142	18—142	18—142	18—142
Cr	$X_{\text{сеп}}$, мг/кг	8	3	5	6
	$(X_{\text{max}} - X_{\text{min}})$, мг/кг	4—12	2—8	3—8	2—10
	V , %	30	27	28	30
	SD , мг/кг	2,4	0,8	1,4	1,8
	Фон [17]	0,2—4,8	0,2—4,8	0,2—4,8	0,2—4,8
<i>Марійський парк</i>					
Cu	$X_{\text{сеп}}$, мг/кг	55	31	28	22
	$(X_{\text{max}} - X_{\text{min}})$, мг/кг	45—80	15—55	20—40	10—45
	V , %	22	21	23	22
	SD , мг/кг	13,1	6,2	6,9	4,4
	Фон [17]	4,0—21,6	4,0—21,6	4,0—21,6	4,0—21,6
Pb	$X_{\text{сеп}}$, мг/кг	40	5	4	2
	$(X_{\text{max}} - X_{\text{min}})$, мг/кг	10—55	2—8	1—10	1—8
	V , %	41	38	35	30
	SD , мг/кг	16,3	1,9	1,4	0,6
	Фон [16]	1,6—10	1,6—10	1,6—10	1,6—10
Zn	$X_{\text{сеп}}$, мг/кг	75	56	28	16
	$(X_{\text{max}} - X_{\text{min}})$, мг/кг	36—84	22—73	8—37	14—24
	V , %	20	20	20	20
	SD , мг/кг	15,1	10,8	5,5	3,1
	Фон [17]	22—230	22—230	22—230	22—230
Ni	$X_{\text{сеп}}$, мг/кг	24	13	9	2
	$(X_{\text{max}} - X_{\text{min}})$, мг/кг	5—25	4—14	5—12	1—5
	V , %	34	33	35	35
	SD , мг/кг	6,8	3,3	3,5	0,7
	Фон [17]	Н. в.	Н. в.	Н. в.	Н. в.
Mn	$X_{\text{сеп}}$, мг/кг	221	345	268	199
	$(X_{\text{max}} - X_{\text{min}})$, мг/кг	150—300	170—350	150—320	150—220
	V , %	32	32	31	31
	SD , мг/кг	63,9	95,3	78,2	61,3
	Фон [17]	18—142	18—142	18—142	18—142
Cr	$X_{\text{сеп}}$, мг/кг	8	3	5	4
	$(X_{\text{max}} - X_{\text{min}})$, мг/кг	5—11	1—8	3—10	2—7
	V , %	28	23	28	28
	SD , мг/кг	2,2	0,7	1,4	1,1
	Фон [17]	0,2—4,8	0,2—4,8	0,2—4,8	0,2—4,8

П р и м і т к а. $X_{\text{сеп}}$ — середнє арифметичне значення валового вмісту елемента в листках, $(X_{\text{max}} - X_{\text{min}})$ — розмах варіації, V — коефіцієнт варіації, SD — середньоквадратичне відхилення, Фон — середні значення концентрацій металу в листках *Taraxacum officinale* Wigg. у межах індустріальних територій [17], Н. в. — не визначається, загальна кількість проб (N) = 360.

Н o t e. $X_{\text{сеп}}$ — arithmetic mean value of the element gross content in leaves, $(X_{\text{max}} - X_{\text{min}})$ — scope of variation, V — variation coefficient, SD — standard deviation, Фон — reference values for the average metal content in *Taraxacum officinale* Wigg. leaves in industrial areas [17], Н. в. — non detected, total number of samples (N) = 360.

Рис. 2. Діаграма усереднених показників коефіцієнтів біологічного поглинання важких металів листям *Taraxacum officinale* Wigg., парки: 1 — "Феофанія", 2 — Політехнічний, 3 — Маріїнський

Fig. 2. Diagram of biological absorption coefficients average values of heavy metals by *Taraxacum officinale* Wigg. leaves: 1 — Feofaniya Park, 2 — Kyiv Polytechnic Institute Park, 3 — Mariyinsky Park



cinale Wigg. виявлено на пробних майданчиках парків (А), розташованих поблизу автомобільних доріг і зупинок громадського транспорту. Однак слід зазначити, що високі рівні металів, виявлені в зразках ґрунту, не завжди збігалися з їх найвищими рівнями в біомасі листків. 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 листках рослин у напрямку до центральної частини парку зберігається. Найвищий вміст досліджуваних елементів у листках *Taraxacum officinale* Wigg. зафіксовано у Політехнічному парку (Cu — 77; Pb — 11; Zn — 66 мг/кг поблизу просп. Перемоги), найменші — у Парку "Феофанія" (винятком 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) використано коефіцієнт біологічного поглинання КБП [1]:

$$\text{КБП} = \frac{C_p}{C_r},$$

де C_p — вміст металу в рослині, мг/кг; C_r — валовий вміст елементу в ґрунті, мг/кг.

Найвищі коефіцієнти біологічного поглинання листям *Taraxacum officinale* Wigg. виявлено для Cu (середній КБП = 0,37), Zn (0,73) і Mn (0,66) (рис. 2). Це пов'язано з їх високою біологічною значимістю. Низький рівень біологічного поглинання виявлено для Pb (0,07—0,17, виняток — Маріїнський парк поблизу вул. Грушевського). Оскільки серед усіх досліджених металів найтоксичнішу дію на рослини чинить саме Pb, отримані результати можуть дати підставу для оптимістичного прогнозу щодо можливих змін фітоценозів у межах досліджених паркових екосистем у майбутньому, незважаючи на високий рівень техногенного навантаження.

В отриманих варіаціях біопоглинальної здатності листків *Taraxacum officinale* Wigg. до важких металів не прослідковується залежності відносно відстані до автошляхів та ступеня забруднення ґрунтів. Імовірніше 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 притаманна чітка від'ємна кореляція між КБП у листі *Taraxacum officinale* Wigg. та концентрацією елементу в ґрунті (коефіцієнт кореляції ($R = -0,83$)). Отже, зі збільшенням забруднення ґрунту на Cr, інтенсивність його накопичення рослиною зменшується, спрацьовують її захисні функції.

У відповідності з фітотоксикологічною класифікацією металів, за коефіцієнтом біологічного поглинання [1], авторами встановлено класи небезпеки відносно забруднення дос-

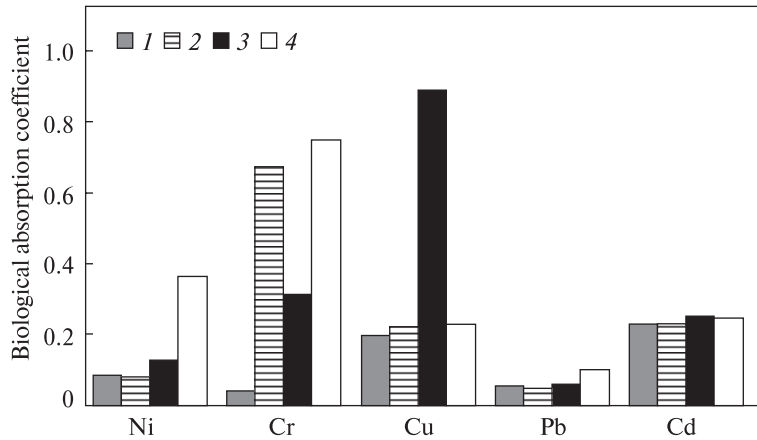


Рис. 3. Діаграма усереднених показників коефіцієнтів біологічного поглинання важких металів листям *Tilia cordata Mill.*, парки: 1 — "Феофанія", 2 — імені Пушкіна, 3 — Маріїнський, 4 — "Нивки"

Fig. 3. Diagram of biological absorption coefficients average values of heavy metals by *Tilia cordata Mill.* leaves: 1 — Feofaniya Park, 2 — Pushkin Park, 3 — Mariyinsky Park, 4 — Nyvky Park

ліджуваної території важкими металами (табл. 4).

За фітотоксикологічною класифікацією металів за коефіцієнтом, біологічного поглинання рослинами [1], в межах досліджуваних паркових екосистем міста метали (Cu, Pb, Zn, Ni, Mn, Cr) є переважно елементами низького поглинання (IV класу небезпеки). Винятком є лише Маріїнський парк, у межах якого Zn, за величиною КБП, належить до елементів помірного поглинання (III клас небезпеки). Для усієї досліджуваної території за середньоарифметичними значеннями КБП металів листками *Taraxacum officinale Wigg.* отримано такі ряди інтенсивності біопоглинання: 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 інтенсивності біологічного поглинання важких металів листками досліджуваної трав'янистої рослинності для Політехнічного та Маріїнського парків. Імовірно, це пов'язано з їх розташуванням у центральній частині міста з подібними природними умовами та інтенсивністю техногенного навантаження.

Під час виконання дослідження додатково залучено дані щодо вмісту важких металів (Ni, Cr, Cu, Pb, Cd) у ґрунтах та листі представника деревної 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.* розраховано коефіцієнти біологічного поглинання (рис. 3). Виявилось, що найвищі рівні металів, що визначено у біомасі листків, зазвичай не збігались з найвищими їх рівнями, визначеними у зразках ґрунтів. Можна припустити, що

це пов'язано, насамперед, з тим, що рослини здатні акумулювати з ґрунтів лише водорозчинні, мобільні форми важких металів. Варто зазначити, що у даному дослідженні автори не вивчали поверхневе забруднення листкових пластинок за рахунок аеротехногенного перенесення. Найвищий вміст Cr виявлено у зразках з парку імені Пушкіна — 30 мг/кг сухої маси (КБП = 0,68); Cu — у 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 листками *Tilia cordata Mill.* отримано такі ланцюги інтенсивності біопоглинання: 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 біологічного поглинання важких металів відносно усієї сукупності зразків як трав'янистої, так і деревної рослинності, підтверджує принцип екологічної конгруентності (відповідності), згідно з якою живі складові досліджених екосистем виробили відповідні пристосування, скоординовані абіотичним середовищем [1].

Оскільки вірогідним джерелом надходження важких металів до системи "ґрунт — рослина" в межах Маріїнського та Політехнічного парків є автомобільні дороги, ми дослідили додаткові техногенні джерела та шляхи міграції, що можуть потенційно нести загрозу для екосистеми парку "Феофанія", що розташований на околиці міста та віддалений від великих автотрас (табл. 2, для ґрунтів парку "Феофанія" не завжди є закономірність — у разі віддалення

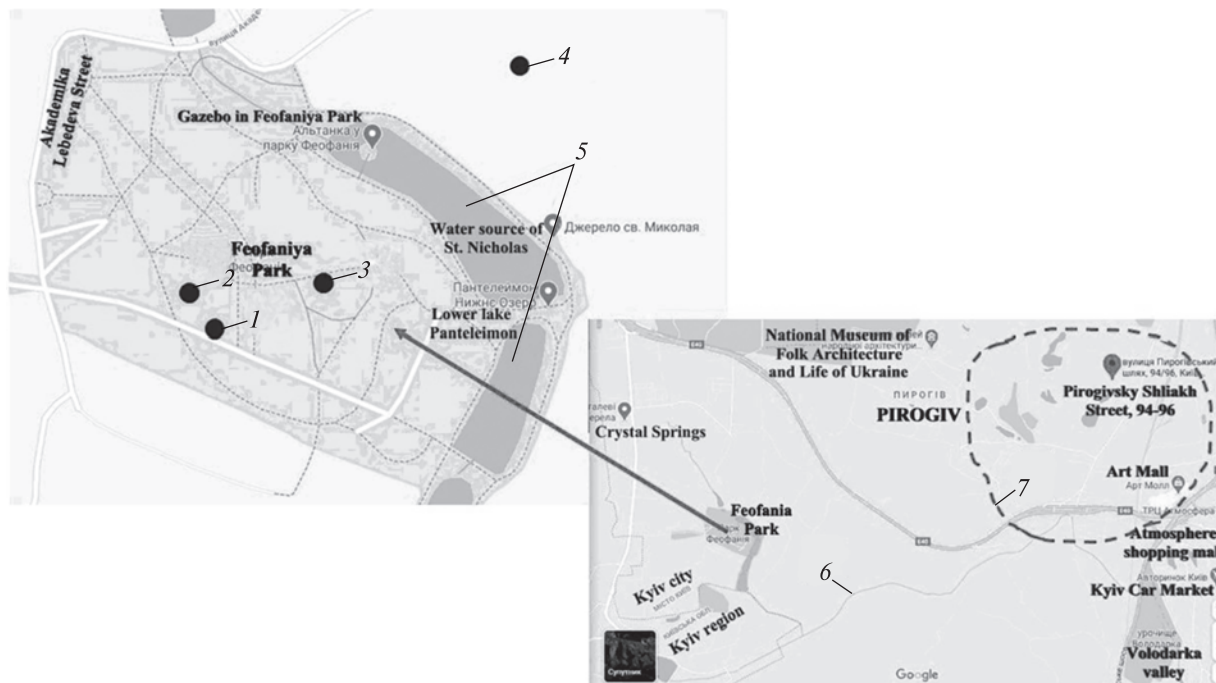


Рис. 4. Картографічна схема розміщення парку "Феофанія" та гідрогеохімічної аномалії № 4, пробні майданчики: 1 — А, 2 — В, 3 — С, 4 — D; 5 — ставки, 6 — струмок Віта, 7 — контури гідрогеохімічної аномалії

Fig. 4. Cartographic scheme of Feofaniya Park and hydrogeochemical anomaly No. 4, location, experimental area: 1 — A, 2 — B, 3 — C, 4 — D, 5 — ponds, 6 — the Vita stream, 7 — hydrogeochemical anomaly contours

від автомобільної дороги, концентрація важких металів зменшується). З цією метою вивчено область так званої гідрогеохімічної аномалії № 4 [3], що охоплює територію Пирогівського звалища побутового сміття та прилеглу до неї ділянку долини р. Віта (рис. 4).

Для здійснення цього дослідження залучено гідрохімічні дані, оскільки в межах парку "Феофанія" є система ставків, гідродинамічно пов'язаних з першим від поверхні водоносним горизонтом, що, на нашу думку, слугує додатковим шляхом міграції важких металів до ком-

понентів довкілля досліджуваної екосистеми. Загалом обстежено 40 колодязів та джерел, що викривають води алювію першої надзаплавної тераси р. Віта. Виявлено, що підземні води зазнали значної техногенної метаморфізації. Тут розвинені хлоридні амонійні води, вміст хлориду амонію в яких становить 68 % від загального вмісту солей. Мінералізація — 7–8 г/дм³. Води містять велику кількість органічної речовини (перманганатна окиснюваність — понад 40). Найвищі концентрації виявлено для таких компонентів: NH₄ — 1,5 г/дм³ (750 ГДК), Cl —

Таблиця 4. Фітотоксикологічна класифікація металів за коефіцієнтом біологічного поглинання у листках *Taraxacum officinale* Wigg. у межах досліджуваних паркових екосистем Києва [1]
Table 4. Phytotoxicological classification of metals by biological absorption coefficient in leaves of *Taraxacum officinale* Wigg. within the studied park ecosystems of Kyiv city [1]

КБП	Клас безпеки			
	I Інтенсивний	II Середній	III Помірний	IV Низький
	>2,24 Н. в.	2,23–1,52 Н. в.	1,51–0,8 Zn*	<0,79 Cu, Pb, Zn, Ni, Mn, Cr

Примітка. КБП — коефіцієнт біологічного поглинання, * — винятково в межах Маріїнського парку, Н. в. — не виявлено.

Note. КБП — biological absorption coefficient, * — exclusively within the Mariyinsky Park, Н. в. — non detected.

2,5 г/дм³ (7 ГДК), V, Co — 0,03 мг/дм³, Mo — 0,014 мг/дм³, Zr — 0,07 мг/дм³, Cr — 0,5 мг/дм³ (1 ГДК), Cu — 0,05 мг/дм³, Ba — 0,7 мг/дм³ (7 ГДК), Ti — 0,2 мг/дм³ (2 ГДК). Як відомо, у відновній амонійній обстановці елементи мігрують переважно у вигляді органічних комплексів. На контакт з водами річкового алювію окисно-відновний потенціал середовища суттєво підвищується. Відбувається заміщення амоній-іона іонами натрію, магнію та кальцію, вміст яких підвищується у 2—3 рази. Вода стає гідрокарбонатно-хлоридною натрієво-магнієвою з мінералізацією 6 г/дм³. На оксидному бар'єрі посилюється інтенсивність міграції багатьох елементів, концентрація яких така: Co, Ni — 0,18 мг/дм³ (1,8 ГДК), Mn — 12 мг/дм³ (120 ГДК), Cu — 0,12 мг/дм³, Be — 0,0004 мг/дм³ (2 ГДК), Ba — 0,9 мг/дм³ (9 ГДК). Далі, вниз по долині р. Віта, в межах області, де здебільшого важливу роль відіграє механізм розсіювання, відбувається поступове зменшення мінералізації води до 2,7 г/дм³.

Отже, виявлено високий вміст Cr, Cu та Ni у першому від поверхні водоносному горизонті, поширеному в межах екосистеми парку "Феофанія". Зважаючи на високу міграційну здатність важких металів на окисному бар'єрі, що формується на контакт з поверхневими водами, автори припускають, що підвищені, порівняно з фоновими [10], концентрації Cu, Pb, Zn, Ni та Mn у ґрунтах парку "Феофанія" пов'язані передусім з Пирогівським звалищем побутових відходів, а підземні води, що розвантажуються у паркові ставки, є основним шляхом міграції поліютантів до компонентів природного середовища досліджуваної території, зокрема до системи "ґрунт — рослина".

Висновки. Здійснене біогеохімічне дослідження паркових екосистем Києва дало змогу виявити такі закономірності розподілу важких металів у ґрунтах, зразках трав'янистої та деревної рослинності:

1. Найвищий рівень забруднення ґрунтів важкими металами (Cu, Pb, Zn, Ni, Mn, Cr) виявлено на пробних майданчиках парків, розташованих поблизу автомобільних доріг і зупинок громадського транспорту. Найзабрудненішим парком виявився Політехнічний, у ньому виявлено найвищі значення Pb (102 мг/кг) та Cu (307 мг/кг).

2. Найменш забрудненими є ґрунти парку "Феофанія". Найвищі коефіцієнти концентра-

цій важких металів відносно фонових значень зафіксовані для Pb (2—4) та Cu (1,5—3,4).

3. Загалом, для ґрунтів усіх досліджених паркових зон характерне забруднення на Pb і 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.

4. Найвищі концентрації важких металів у листі *Taraxacum officinale Wigg.* виявлено на пробних майданчиках парків, розташованих поблизу автомобільних доріг і зупинок громадського транспорту, однак високі рівні металів, виявлені в зразках ґрунту, не завжди збігалися з їх найвищими рівнями в біомасі листків. На думку авторів, це могло б бути пов'язано з особливостями активності міграційних процесів рухомих форм важких металів у системі "ґрунт — рослина", а також з біологічними особливостями накопичення елементів рослинами, однак підтвердження такого припущення потребує додаткових досліджень.

5. Найвищі вмісти досліджуваних елементів у листі *Taraxacum officinale Wigg.* зафіксовано у Політехнічному парку (Cu — 77; Pb — 11; Zn — 66 мг/кг поблизу просп. Перемоги), найменші — у парку "Феофанія" (винятком є Zn, вміст якого підвищується до 78 мг/кг поблизу автодороги). Маріїнський та Політехнічний парки характеризуються різким збільшенням вмісту на 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.

6. Найвищі коефіцієнти біологічного поглинання листям *Taraxacum officinale Wigg.* виявлено для Cu (0,37), Zn (0,73) і Mn (0,66), що, як вважають автори, пов'язано з їх високою біологічною значимістю. Низький рівень біопоглинання виявлено для Pb (0,07—0,17), за винятком Маріїнського парку поблизу вул. Грушевського.

7. За фітотоксикологічною класифікацією металів за коефіцієнтом біологічного поглинання рослинами [1], у межах досліджуваних паркових екосистем міста метали (Cu, Pb, Zn, Ni, Mn, Cr) належать переважно до елементів низького поглинання (IV класу небезпеки). Винятком є лише Маріїнський парк, у межах якого Zn за величиною КБП належить до елементів помірної поглинання (III класу небезпеки).

8. Для досліджуваних паркових екосистем за середньоарифметичними значеннями КБП металів листям *Taraxacum officinale* Wigg. отримано такі ряди інтенсивності біопоглинання: Mn > Zn > Cu > Ni > Pb > Cr (парк "Феофанія"), Zn > Mn > Cu > Ni > Cr > Pb (Політехнічний парк), Zn > Mn > Cu > Ni > Cr > Pb (Маріїнський парк). Автори зауважують повний збіг рядів інтенсивності біологічного поглинання важких металів листям досліджуваної трав'янистої рослинності для Політехнічного та Маріїнського парків, що швидше за все, пов'язано з їх розташуванням у центральній частині міста з подібними природними умовами та інтенсивністю техногенного навантаження.

9. Для листків досліджуваного представника деревної рослинності — *Tilia cordata* Mill. — найвищі рівні металів зазвичай не збігались з найвищими їх рівнями, визначеними у зразках ґрунтів. Найвищий вміст Cr виявлено у зразках з парку імені Пушкіна — 30 мг/кг сухої маси (КБП = 0,68), Cu — у 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.

10. Для досліджених паркових екосистем за середньоарифметичними значеннями КБП металів листками *Tilia cordata* Mill. отримано такі ряди інтенсивності біопоглинання: 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, такий широкий діапазон інтенсивності біологічного поглинання важких металів відносно усієї сукупності зразків як трав'янистої, так і деревної рослинності, підтверджує принцип екологічної конгруентності (відповідності), згідно з якою живі складові досліджених екосистем виробили відповідні пристосування, скоординовані абіотичним середовищем.

Ґрунтуючись на викладеному, можна стверджувати, що для паркових екосистем, розта-

шованих у центральній частині Києва 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 нашу думку, пов'язані також з високим вмістом привозних ґрунтів, що використано у ході благоустрою цих паркових зон. Для таких 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 наприкінці перешкоджає переходу елементів у розчин.

Аналіз фактичних даних показав чітку тенденцію зміни величини вмісту важких металів у листках *Taraxacum officinale* Wigg. та *Tilia cordata* Mill. залежно від градієнта збільшення інтенсивності транспортних потоків та підтвердив доцільність вибору цих біоіндикаційних видів трав'янистої і деревної рослинності для оцінки стану паркових екосистем.

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

Представлене дослідження виконано під керівництвом та за безпосередньої участі видатного вченого, доктора хімічних наук А.І. Самчука, який раптово відійшов у вічність 12 листопада 2020 р. Для авторів було великою честю працювати пліч-о-пліч з Анатолієм Івановичем, який протягом усього часу підготовки статті надавав цінні зауваження та настанови. Без перебільшення можна сказати, що ця робота реалізована винятково завдяки йому.

ЛІТЕРАТУРА

1. Бондар О.І., Риженко Н.О. Фітотоксикологічна класифікація металів за інтенсивністю їх біокумуляції в умовах зелених паркових зон м. Києва. *Агроекологічний журн.* 2017. № 3. С. 32–39. <https://doi.org/10.33730/2077-4893.3.2017.219884>
2. Вовк К.В. Геохімія мікроелементів у об'єктах довкілля Київської агломерації: автореф. дис. ... канд. геол. наук. Київ, 2018. 20 с.
3. Зарицкий А.И., Лысяный Н.Н., Абрамис А.Я. и др. Геохимические аспекты состояния геологической среды Киевской промышленно-городской агломерации. *Геол. журн.* 1991. № 2. С. 34–42.

4. Люта Н.Г. Особливості оцінки і моніторингу еколого-геохімічного стану ґрунтів і донних відкладів у сучасних умовах (на прикладі Київської промислово-міської агломерації (ПМА)). *Зб. наук. пр. УкрДГРІ*. 2010. № 3—4. С. 172—179.
5. Методика определения микроэлементов в диагностируемых биосубстратах методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ISP-MS): методические рекомендации. Москва, 2003. 25 с.
6. Мозолева Е.П., Кузьмичев Е.П., Шленская Л.М., Терехова В.А., Полянская Л.М. Оценка состояния и устойчивости лесов зеленой зоны города Тольятти. Тольятти: ИЭВБ РАН, 1995. 93 с.
7. Національний атлас України. За ред. Л.Г. Руденко. Київ: ГНПП Картографія, 2008. 440 с.
8. Небесний В.Б., Гродзинська Г.А., Самчук А.І., Дугін С.С., Гончар Г.Ю. Спектрометричний експрес-метод біоіндикації паркових екосистем. *Nauka innov*. 2020. 16, № 4. С. 78—86. <https://doi.org/10.15407/scin16.04.078>
9. Олексійченко Н.О., Ліханов А.Ф. Варіабельність морфологічних і біохімічних ознак листків рослин роду *Tilia L.* в урбосередовищі. *Наук. праці Лісівничої акад. наук України*. 2016. 14. С. 23—30.
10. Тютюнник Ю.Г., Блюм О.Б., Даунис-и-Эстаделья Дж., Мартин-Фернандес Дж.А. Геостатистический анализ техногенного воздушного влияния на лесопарковый ландшафт (на примере города Киева). *География и природные ресурсы*, 2014. № 1. С. 68—74.
11. Щур К.Ю., Гродзинська Г.А., Небесний В.Б., Гончар Г.Ю., Самчук А.І., Конякін С.М., Мірошник Н.В., Міхеєв О.М., Тесленко І.К. Біоіндикація техногенного забруднення м. Києва: методичні підходи. Київ: Наш формат, 2016. 122 с.
12. Aboal J.R., Fernandez J.A., Carballeira A. Oak leaves and pine needles as biomonitors of airborne trace elements pollution. *Environmental and Experimental Botany*. 2004. 51(3). P. 215—225.
13. Cicek A., Kopal A.S. Accumulation of sulfur and heavy metals in soil and tree leaves sampled from the surroundings of Tunçbilek Thermal Power Plant. *Chemosphere*. 2004. 57(8). P. 1031—1036.
14. Degórska 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*. 2013. 1(4). P. 29—40. <https://doi.org/10.1515/environ-2015-0021>
15. Dwyer J. F., Nowak D.J., Noble M.N. Sustaining urban forests. *J. of Arboriculture*. 2003. 29(1). P. 49—55.
16. Flint H.L. Plants showing tolerance of urban stress. *J. of Environmental Horticulture*. 1985. 3(2). P. 85—89. <https://doi.org/10.24266/0738-2898-3.2.85>
17. Giacomino A., Malandrino M., Colombo M.L., Miaglia S., Maimone P., Blancato S., Conca E., Abollino O. Metal content in dandelion (*Taraxacum Officinale*) leaves: influence of vehicular traffic and safety upon consumption as food. *J. of Chemistry*. 2016. № 6. P. 1—9. <https://doi.org/10.1155/2016/9842987>
18. Kleckerova A., Dočekalova H. Dandelion plants as a biomonitor of urban area contamination by heavy metals. *Int. J. of Environmental Research and Public Health*. 2014. 8(1). P. 157—164. <https://doi.org/10.22059/IJER.2014.705>
19. Konijnendijk C.C., Nilsson K., Randrup T.B., Schipperijn J. *Urban Forests and Trees*. Berlin: Springer, 2005. 520 p. <https://doi.org/10.1007/3-540-27684-X>
20. 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*. 2017. 4(1). P. 1373—1385. <https://doi.org/10.14597/infraeco.2017.4.1.105>

Надійшла 31.01.2021

REFERENCES

1. Bondar, O.I. and Ryzhenko, N.O. (2017), *Ahroekolohichniy zhurnal*, No. 3, Kyiv, UA, pp. 32-39 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.33730/2077-4893.3.2017.219884>
2. Vovk, K.V. (2018), *Heokhimiia mikroelementiv v ob'ektakh dovkillia Kyivskoi ahlomeratsii*, Avto-ref. dis. kand. geol. nauk, Kyiv, UA, 20 p. [in Ukrainian].
3. Zaritsky, A.I., Lysyanyi, N.N., Abramis, A.Ya. and etc. (1991), *Geol. zhurn.*, No. 2, Kyiv, UA, pp. 34-42 [in Russian].
4. Liuta, N.G. (2010), *Zb. nauk. pratz UkrDGRI*, No. 3-4, Kyiv, UA, pp. 172-179 [in Ukrainian].
5. *Metodika opredeleniya mikroelementov v diagnostiruemym biosubstratah metodom mass-spektrometrii s induktivno-svyazannoy plazmoy (ISP-MS): metodicheskie rekomendatsii* (2003), Moscow, RU, 25 p. [in Russian].
6. Mozolevskaya, E.P., Kuzmichev, E.P., Shlenskaya, L.M., Terekhova, V.A. and Polyanskaya, L.M. (1995), *Otsenka sostoyaniya i ustoychivosti lesov zelenoy zony goroda Tol'yatti*, IEVB RAN, Tolyatti, RU, 93 p. [in Russian].
7. Rudenko, L.G. (ed.) (2008), *Natsionalnyi atlas Ukrainy*, GNPP Kartografiya, Kyiv, UA, 440 p. [in Ukrainian].
8. Nebesny, V.B., Grodzynska, G.A., Samchuk, A.I., Dugin, S.S. and Honchar, H.Yu. (2020), *Nauka innov*, Vol. 16, No. 4, Kyiv, UA, pp. 78-86 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.15407/scin16.04.078>
9. Oleksiichenko, N.O. and Likhonov, A.F. (2016), *Naukovi pratsi Lisivnychoi akademii nauk Ukrainy*, Vol. 14, Kyiv, UA, pp. 23-30 [in Ukrainian].
10. Tyutyunnik, Yu.G., Blyum, O.B., Daunis-i-Estadellia, J. and Martín-Fernández, J.A. (2014), *Geografiya i prirodnye resursy*, No. 1, Irkutsk, RU, pp. 68-74 [in Russian].
11. Shchur, K.Yu., Grodzynska, G.A., Nebesny, V.B., Honchar, H.Yu., Samchuk, A.I., Konyakin, S.M., Miroshnyk, N.V., Mikhyeyev, O.M. and Teslenko, I.K. (2016), *Bioindykatsiia stanu tekhnohennoho zabrudnennia m. Kyieva: metodychni pidkhody*, Nash format publ., Kyiv, UA, 122 p. [in Ukrainian].

12. Aboal, J.R., Fernandez, J.A. and Carballeira, A. (2004), *Environmental and Experimental Botany*, Vol. 51(3), pp. 215-225.
13. Cicek, A. and Koparal, A.S. (2004), *Chemosphere*, Vol. 57(8), pp. 1031-1036.
14. Degórska, A. (2013), *Environmental and Socio-economic Studies*, Vol. 1(4), Poland, pp. 29-40. <https://doi.org/10.1515/environ-2015-0021>
15. Dwyer, J.F., Nowak, D.J. and Noble, M.N. (2003), *J. of Arboriculture*. Vol. 29 (1), pp. 49-55.
16. Flint, H.L. (1985), *J. of Environmental Horticulture*, No. 3 (2), pp. 85-89. <https://doi.org/10.24266/0738-2898-3.2.85>
17. Giacomino, A., Malandrino, M., Colombo, M.L., Miaglia, S., Maimone, P., Blancato, S., Conca, E. and Abollino, O. (2016), *J. of Chemistry*, No. 6, pp. 1-9. <https://doi.org/10.1155/2016/9842987>
18. Kleckerova, A. and Dočekalova, H. (2014), *Int. J. of Environmental Research and Public Health*, Vol. 8(1), pp. 157-164. <https://doi.org/10.22059/IJER.2014.705>
19. Konijnendijk, C.C., Nilsson, K., Randrup, T.B. and Schipperijn, J. (2005), *Urban Forests and Trees*, Springer, Berlin, 520 p. <https://doi.org/10.1007/3-540-27684-X>
20. Świercz, Anna and Zajęcka, Ewelina (2017), *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*, Vol. 4(1), pp. 1373-1385. <https://doi.org/10.14597/infraeco.2017.4.1.105>

Received 31.01.2021

I.V. Kuraieva, DrSc (Geology), Prof., Head of Department
M.P. Semenenko Institute of Geochemistry,
Mineralogy and Ore Formation of the NAS of Ukraine
34, Acad. Palladin Ave., Kyiv, Ukraine, 03142
E-mail: KI4412674@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0003-3113-7782>

T.O. Koshliakova, PhD (Geology), Senior Research Fellow
M.P. Semenenko Institute of Geochemistry,
Mineralogy and Ore Formation of the NAS of Ukraine
34, Acad. Palladin Ave., Kyiv, Ukraine, 03142
E-mail: tatianakoshliakova@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0001-8551-3531>

K.V. Vovk, PhD (Geology), Deputy Director
M.P. Semenenko Institute of Geochemistry,
Mineralogy and Ore Formation of the NAS of Ukraine
34, Acad. Palladin Ave., Kyiv, Ukraine, 03142
E-mail: vovkkaterina90@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0001-5076-260X>

K.S. Zlobina, PhD (Geology), Research Fellow
M.P. Semenenko Institute of Geochemistry,
Mineralogy and Ore Formation of the NAS of Ukraine
34, Acad. Palladin Ave., Kyiv, Ukraine, 03142
E-mail: ecatrinka@ukr.net; <https://orcid.org/0000-0001-8823-4642>

FEATURES OF HEAVY METALS DISTRIBUTION IN ENVIRONMENTAL COMPONENTS OF URBAN PARK LANDSCAPES OF KYIV CITY

We investigated the impact of the urban environment on the park ecosystems in Kyiv. As representatives of vegetation the species *Taraxacum officinale* Wigg. and *Tilia cordata* Mill., were chosen. The content of heavy metals (Cu, Pb, Zn, Ni, Mn, Cr, and Cd) in soil and leaf samples within the ecosystems of the parks Feofaniya, Kyiv Polytechnic Institute, Mariyivsky, Pushkin, and Nyvky was measured. The highest level of soil contamination with heavy metals was found in the areas of parks located near highways and public transport stops. The most polluted park was the Kyiv Polytechnic Park, and the least polluted Feofaniya Park. High levels of metals found in soil samples did not always coincide with their highest levels in the biomass of the studied plants leaves. We found that, according to the phytotoxicological classification of metals by the biological absorption coefficient (BAC) by plants within the studied park ecosystems, Cu, Pb, Zn, Ni, Mn, and Cr belong mainly to the elements of low absorption (hazard class IV) except for Mariyivsky Park, where Zn according to the BAC value belongs to the elements of moderate absorption (hazard class III). The order of amount of metal bioaccumulation in plants obtained by us show a fairly wide range for different park ecosystems, which confirms the principle of ecological congruence (compliance), according to which the living components of an ecosystem have developed appropriate adaptations coordinated by the abiotic environment. In order to identify additional ways of migration of heavy metals to the ecosystem of Feofaniya Park, hydrochemical data from the surface of the first aquifer, circulated within the study area, were involved. It has been suggested that the increased concentrations of Cu, Pb, Zn, Ni, and Mn in the soils of Feofaniya Park are connected with the Pirogivsky landfill, and the groundwater discharged into the park ponds serves as the main way of migration of pollutants to the natural environment, in particular to the soil-plant system. Our results confirm the need to involve biogeochemical data for ecological assessment of the urban environment and early diagnosis of negative influence, when the plants have not yet manifested morphological and anatomical abnormalities.

Keywords: bioindication, bioaccumulation, park ecosystems, heavy metals, *Taraxacum officinale* Wigg., *Tilia cordata* Mill.