

ОСОБЛИВОСТІ АКУМУЛЯЦІЇ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ У ЛИСТКАХ ДЕРЕВНИХ РОСЛИН ПРИ АЕРОГЕННОМУ ЗАБРУДНЕННІ ЕКОТОПІВ

Установлено вміст і темпи акумуляції Zn, Ni, Pb та Cd у листках деревних рослин у різні фази морфогенезу в умовах забруднення викидами підприємства з виробництва металовмісних пігментів для лакофарбової промисловості. За показником внутрішньотканинного забруднення листків досліджені види розподілено на три групи. До першої віднесено види з високим рівнем акумуляції більшості важких металів, який перевищує більше ніж у 10 разів фоновий рівень (*Populus bolleana* Lauche, *P. italica* (Du Roi) Moench та *Sorbus aucuparia* L.), до другої — види із середнім рівнем акумуляції (перевищення фонового рівня у 5–10 разів) — *Acer negundo* L. і *Tilia cordata* Mill., до третьої — види з перевищенням фонового рівня менш ніж у 5 разів — *Aesculus hippocastanum* L., *Betula pendula* Roth. та *Picea pungens* Engelm.

Ключові слова: акумуляція, важкі метали, деревні рослини.

Сучасне урбанізоване середовище за багатьма показниками, зокрема за видовим складом тварин і особливо рослин, значно відрізняється від природних біогеоценозів [8, 19, 27]. У промислових центрах техногенне забруднення є одним з основних чинників, які впливають на рослинність [8, 15]. Тому деревні рослини, які використовують для озеленення територій промислових підприємств, повинні мати високу стійкість до аерогенного забруднення, високу декоративність і здатність поглинати забруднюючі речовини з атмосфери та ґрунту, рости на ґрунтах з домішками будівельного сміття і низьким вмістом поживних речовин [9, 17, 20].

Останніми роками дослідники видоспецифічної акумуляції і транслокації важких металів у рослинах в Криворізькому регіоні здебільшого обмежуються вивченням впливу атмосферних викидів підприємств гірничо-рудної промисловості або лише сполук окремих металів на квітничково-декоративні рослини, сільськогосподарські культури, окремі види тополь чи газонні трави [10, 12, 13, 24] і практично не вивчають вплив підприємств з виробництва металовмісних пігментів для лакофарбової промисловості на деревні рослини.

Мета роботи — дослідити особливості акумуляції Zn, Pb, Cd та Ni у листках деревних рослин у зоні дії ЗАТ «Криворізький суриковий завод».

Матеріал та методи

Об'єктами досліджень були *Populus bolleana* Lauche, *P. italica* (Du Roi) Moench, *Picea pungens* Engelm., *Acer negundo* L., *Tilia cordata* Mill., *Sorbus aucuparia* L., *Betula pendula* Roth. та *Aesculus hippocastanum* L. другої вікової групи, які ростуть на проммайданчику ЗАТ «Криворізький суриковий завод» (у зонах сильного і слабого забруднення) та в дендрарії Криворізького ботанічного саду НАН України (умовний контроль). Для аналізу відбирали листки і хвою із середини крони південно-західної експозиції у фазу повного відокремлення листка/хвої на 5–10-ту добу та 80–85-ту добу фази завершення росту листка/хвої.

У районі досліджень рельєф є рівнинним. Ґрунти на моніторингових ділянках належать до відділу техногенних ґрунтів [21].

Валовий вміст вуглецю в шарі ґрунту 0–5 см — 2,5 %, у шарі 5–10 см — 1,8 %, у шарі 10–20 см виявлено сліди.

Валовий вміст вуглецю в шарі ґрунту 0–5 см — 4,6 %, у шарі 5–10 см — 3,8 %, у шарі 10–20 см — 2,1 %.

Макроморфологічний опис ґрунтового розрізу в зоні сильного забруднення

H ₀	0–0,5 см	Підстилка з листя трав'янистих та деревних рослин. Перехід до наступного горизонту поступовий за збільшенням частки мінеральної фракції
H	0,5–8 см	Чорний, слабкозернистий, агрегати неміцні. Пронизаний корінням трав та дерев, пухкий, суглинистий
H _p	8–12 см	Перехідний горизонт більш щільної будови, грудкуватої структури, перехід до наступного горизонту чіткий за кольором
[H]	12–26 см	Чорний, дрібно призматичний, агрегати міцні, щільний, у нижній частині щільність зростає
[HP]/k	26–49 см	Темно-сірий, призматичний, щільний із 40 см
[HPk]	49–71 см	Сірий, менш щільний, ніж попередній. Перехід до наступного горизонту чіткий за щільністю та кольором. Скипає від 10 % розчину HCl
[Ph]	71–80 см	Палевий із сірим відтінком, щільний, поступово переходить до наступного горизонту
[Pk]	80–120 см	Палевий лесоподібний карбонатний суглинок

Макроморфологічний опис ґрунтового розрізу в зоні слабого забруднення

H	0–19 см	Гумусовий сіро-бурий темний горизонт, сильно корененасичений, зернистий; з глибиною коренева насиченість зменшується, збільшується щільність; перехід до наступного горизонту поступовий
H _p	19–58 см	Темно-сірий із буруватим відтінком крупнозернистий горизонт; свіжий, ущільнений, зі слідами землеріїв, перехід поступовий
Ph(k)	58–110 см	Перехідний горизонт, свіжий, ущільнений, нижче глибини 60 см наявні сліди карбонатного псевдоміцелію, грудкуватий; перехід поступовий
P(k)	110–135 см	Материнська порода — палевий лесоподібний суглинок, легкоглинистий, щільний, зі слідами карбонатів та землеріїв

Ділянка умовного контролю розташована на відстані більш ніж за 20 км від джерела емісій Криворізького сурикового заводу. Рельєф місцевості — рівнинний. Ґрунти представлені чорноземом звичайним малопотужним суглинистим.

Зонування території Криворізького сурикового заводу було здійснено за даними центральної заводської лабораторії щодо вмісту важких металів в атмосферних викидах. У пилоподібних викидах підприємства переважають Zn, Pb, Cd, Ni та Cr. Проведене нами визначення токсикантів у ґрунтах на різній відстані від підприємства дало змогу підтвердити відповідні зони забруднення (табл. 1).

Уміст важких металів у рослинному матеріалі вивчали загальноприйнятими методами [18]. Рослинні проби мінералізували за методом сухого озолення до повного озолення рослинного матеріалу. Кислотну екстракцію проводили з використанням нітрогенової кислоти у розведенні 1:1. Концентрацію важких металів визначали за допомогою атомно-адсорбційного спектрофотометра С-115 (Україна). Розрахунок показника внутрішньотканинного забруднення рослин проводили за формулою [14]:

$$Z^p = \frac{\text{вміст елемента у вегетативному органі за наявності металу}}{\text{вміст елемента у вегетативному органі контрольних рослин}}$$

Досліди проводили в триразовій біологічній та аналітичній повторності. Статистичну обробку отриманих даних здійснювали методами параметричної статистики при 95 % рівні значущості за Б. Доспеховим [11].

Результати та обговорення

На підставі даних моніторингових досліджень у дендрарії Криворізького ботанічного саду НАН України встановлено, що акумуляція Zn, Pb, Cd і Ni в асиміляційних органах деревних рослин у різні фази морфогенезу листка/хвої мала видоспецифічний характер. Так, у фазу повного відокремлення листка/хвої найінтенсивніше акумулювався Zn (табл. 2),

Таблиця 1. Вміст у ґрунті поблизу Криворізького сурикового заводу рухомих форм деяких важких металів (амонійно-ацетатна витяжка), мг/кг ($M \pm m$)

Зона забруднення	Відстань від джерела емісії, м	Напрямок вітру	Zn	Ni	Pb	Cd
Сильне забруднення	50–150	Південно-західний	63,92 \pm 0,49	9,00 \pm 0,42	6,13 \pm 0,31	2,12 \pm 0,08
		Північно-східний	25,78 \pm 0,07	3,00 \pm 0,14	4,27 \pm 0,18	0,78 \pm 0,15
		Східний	22,39 \pm 0,19	2,87 \pm 0,25	3,98 \pm 0,43	0,65 \pm 0,05
Слабке забруднення	250–500	Південно-західний	43,07 \pm 2,31	2,52 \pm 0,01	4,05 \pm 0,02	1,47 \pm 0,01
		Північно-східний	18,45 \pm 0,97	1,25 \pm 0,05	2,65 \pm 0,07	0,44 \pm 0,05
		Східний	12,85 \pm 0,75	0,98 \pm 0,01	2,08 \pm 0,01	0,40 \pm 0,04
Слідове забруднення	1000–2000	Південно-західний	12,81 \pm 0,86	1,50 \pm 0,12	0,66 \pm 0,05	0,71 \pm 0,05
		Північно-східний	8,35 \pm 0,52	0,48 \pm 0,25	0,42 \pm 0,04	0,38 \pm 0,03
		Східний	6,27 \pm 0,08	0,25 \pm 0,10	0,35 \pm 0,10	0,27 \pm 0,05

який належить до помірно токсичних важких металів [2, 25]. Максимальна його кількість була притаманна *Acer negundo* (0,83 мкг/г сирової речовини). Аналогічну тенденцію накопичення цього токсиканта деревними рослинами в промислових умовах виявив І.І. Коршиков [16]. Листки *Populus bolleana*, *P. italica* та *Tilia cordata* акумулювали Zn в 1,6–1,8 разу менше, ніж *A. negundo*.

В асиміляційних органах *Sorbus aucuparia*, *Picea pungens* і *Aesculus hippocastanum* вміст Zn був у 3,3–5,5 разів меншим, ніж у *Acer negundo*. У листках *A. hippocastanum* концентрація Ni та Pb, які належать до групи металів зі значною фітотоксичністю [25, 27], була найменшою (див. табл. 2). У *Populus bolleana*, *P. italica* та *Betula pendula* вміст Ni порівняно з *A. hippocastanum* був вищим майже в 20 разів, тоді як *Tilia cordata*, *Picea pungens* і *Sorbus aucuparia* найінтенсивніше акумулювали плумбум. Концентрація Cd на початку формування листків/хвої у більшості видів, за винятком *B. pendula*, становила від 0,02 до 0,05 мкг/г сирової речовини.

Найбільша кількість усіх досліджених токсикантів у листках деревних рослин накопи-

чувалась у зоні сильного забруднення. Максимально високі темпи акумуляції Zn порівняно з інтактними рослинами у фазу повного відокремлення листка були характерні для *Sorbus aucuparia* ($Z_p^p > 30$). Менш інтенсивно (Z_p^p — від 9,0 до 12,6) він накопичувався в листках *Populus bolleana* і *P. italica*, тоді як для решти видів деревних рослин показник біологічної акумуляції цинку не перевищував 3,2. Схожий характер акумуляції Zn в умовах забруднення металургійних та гірничо-збагачувальних підприємств виявили й інші дослідники [7, 16]. У зоні слабого забруднення Криворізького сурикового заводу спостерігали аналогічну тенденцію накопичення цього токсиканта (див. табл. 2).

Про високі темпи накопичення рослинами Cd, який належить до дуже фітотоксичних металів [1], в умовах зони сильного забруднення свідчить збільшення його вмісту в асиміляційних органах майже всіх видів більш ніж у 4 рази. Як за абсолютними, так і за відносними показниками ($Z_p^p > 20$) найбільший рівень Cd у фазу повного відособлення листка/хвої виявлено у рослин *Picea pungens*.

Таблиця 2. Вміст деяких важких металів у листках деревних рослин, мкг/г сирої речовини

Пробна ділянка	Zn		Ni		Pb		Cd	
	M ± m	3 ^p _л	M ± m	3 ^p _л	M ± m	3 ^p _л	M ± m	3 ^p _л
<i>Populus bolleana</i>								
Умовний контроль	0,52 ± 0,01 0,70 ± 0,01	—	1,05 ± 0,06 1,55 ± 0,02	—	0,73 ± 0,01 0,93 ± 0,03	—	0,03 ± 0,00 0,05 ± 0,00	—
Зона слабого забруднення	0,74 ± 0,08 *	1,42	1,92 ± 0,03 *	1,82	1,35 ± 0,07 *	1,86	0,06 ± 0,00 *	1,96
Зона сильного забруднення	6,97 ± 0,04 *	2,69	2,00 ± 0,01 *	1,29	2,14 ± 0,08 *	2,31	0,09 ± 0,01 *	1,77
	4,70 ± 0,18 *	9,03	2,54 ± 0,04 *	2,41	2,39 ± 0,09 *	3,30	0,18 ± 0,02 *	6,01
	6,97 ± 0,04 *	9,97	2,73 ± 0,01 *	1,77	6,96 ± 0,10 *	7,52	0,24 ± 0,00 *	4,80
<i>Populus italica</i>								
Умовний контроль	0,46 ± 0,02 0,45 ± 0,00	—	0,72 ± 0,08 0,69 ± 0,01	—	0,82 ± 0,03 1,42 ± 0,05	—	0,05 ± 0,00 0,06 ± 0,00	—
Зона слабого забруднення	1,57 ± 0,09 *	3,44	0,92 ± 0,01 *	1,27	1,06 ± 0,03 *	1,29	0,09 ± 0,00 *	1,75
	4,29 ± 0,05 *	9,50	1,32 ± 0,01 *	1,92	5,33 ± 0,04 *	3,75	0,18 ± 0,00 *	2,88
Зона сильного забруднення	5,77 ± 0,09 *	12,62	2,73 ± 0,06 *	3,77	2,36 ± 0,07 *	2,87	0,25 ± 0,01 *	4,99
	10,44 ± 0,15 *	23,07	4,03 ± 0,11 *	5,86	11,64 ± 0,10 *	8,19	0,55 ± 0,02 *	8,65
<i>Acer negundo</i>								
Умовний контроль	0,83 ± 0,05 1,07 ± 0,00	—	0,36 ± 0,01 0,56 ± 0,01	—	0,79 ± 0,01 2,22 ± 0,06	—	0,04 ± 0,00 0,05 ± 0,00	—
Зона слабого забруднення	1,64 ± 0,01 *	1,97	0,67 ± 0,01 *	1,86	0,56 ± 0,03 *	0,71	0,07 ± 0,00 *	1,61
	1,90 ± 0,04 *	1,79	0,74 ± 0,02 *	1,33	3,10 ± 0,04 *	1,40	0,14 ± 0,00 *	2,99
Зона сильного забруднення	2,63 ± 0,17 *	3,16	1,16 ± 0,06 *	3,23	2,00 ± 0,15 *	2,53	0,10 ± 0,00 *	2,26
	3,71 ± 0,09 *	3,48	1,50 ± 0,01 *	2,68	8,08 ± 0,12 *	3,64	0,26 ± 0,01 *	5,52
<i>Picea pungens</i>								
Умовний контроль	0,25 ± 0,01 1,01 ± 0,05	—	0,53 ± 0,01 0,53 ± 0,01	—	1,43 ± 0,03 1,17 ± 0,01	—	0,02 ± 0,00 0,04 ± 0,00	—
Зона сильного забруднення	0,53 ± 0,04 *	2,15	0,61 ± 0,03 *	1,16	1,86 ± 0,05 *	1,30	0,41 ± 0,01 *	22,80
	2,20 ± 0,05 *	2,18	1,17 ± 0,04 *	2,20	2,16 ± 0,06 *	1,85	0,54 ± 0,00 *	15,14
<i>Tilia cordata</i>								
Умовний контроль	0,53 ± 0,02 0,79 ± 0,04	—	0,26 ± 0,02 0,85 ± 0,08	—	1,54 ± 0,19 2,23 ± 0,07	—	0,03 ± 0,01 0,07 ± 0,00	—
Зона сильного забруднення	1,24 ± 0,11 *	2,36	1,00 ± 0,03 *	3,89	2,06 ± 0,21	1,34	0,20 ± 0,01 *	6,15
	3,03 ± 0,37 *	3,81	2,37 ± 0,04 *	2,78	3,03 ± 0,03 *	1,36	0,40 ± 0,01 *	5,37

Умовний контроль	<i>Sorbus aucuparia</i>			
	0,15 ± 0,02	0,41 ± 0,02	1,34 ± 0,08	0,03 ± 0,00
Зона сильного забруднення	0,69 ± 0,01	0,71 ± 0,04	1,68 ± 0,00	0,08 ± 0,00
	5,00 ± 0,60 *	1,79 ± 0,10 *	2,15 ± 0,09 *	0,23 ± 0,02 *
	8,15 ± 0,24 *	11,79	4,95 ± 0,07 *	0,35 ± 0,00 *
<i>Aesculus hippocastanum</i>				
Умовний контроль	0,20 ± 0,02	0,05 ± 0,00	0,44 ± 0,02	0,05 ± 0,00
	0,27 ± 0,00	0,30 ± 0,01	1,15 ± 0,16	0,07 ± 0,00
Зона сильного забруднення	0,36 ± 0,02 *	1,10 ± 0,09 *	0,93 ± 0,02 *	0,16 ± 0,02 *
	1,21 ± 0,07 *	4,55	2,24 ± 0,03 *	0,37 ± 0,00 *
<i>Betula pendula</i>				
Умовний контроль	0,39 ± 0,03	0,93 ± 0,04	0,70 ± 0,00	0,08 ± 0,00
	0,88 ± 0,01	1,06 ± 0,04	1,76 ± 0,08	0,11 ± 0,02
Зона сильного забруднення	0,75 ± 0,03 *	1,95	1,43 ± 0,08 *	1,16 ± 0,01 *
	2,04 ± 0,05 *	2,32	4,59 ± 0,22 *	0,62 ± 0,02 *

Примітка: * — статистично вірогідна різниця щодо контролю за $p < 0,05$; у чисельнику — значення у фазу повного відокремлення листка/хвої, у знаменнику — на 5–10-ту добу фази завершення росту листка/хвої.

Інтенсивність поглинання рослинами Ni була дещо нижчою. Його рівень у листках і хвої деревних рослин у промислових умовах перевищував такий в умовах контролю в 2,5–4,0 рази. У *Aesculus hippocastanum* концентрація Ni була більшою за аналогічний показник у контрольних рослин у 23 рази.

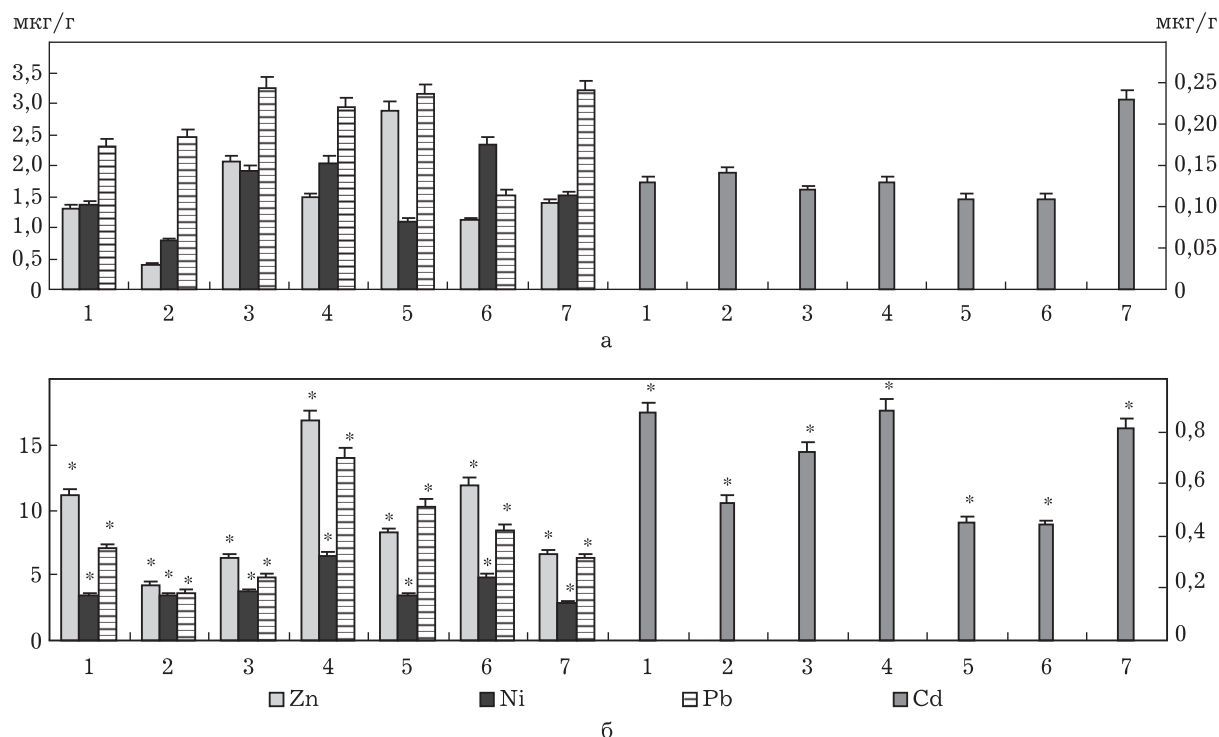
Процеси поглинання фотосинтезуючими органами Pb порівняно з іншими важкими металами були найменшими (див. табл. 2). Так, значення Z_p становили від 1,2 (*Picea pungens*) до 3,3 (*Populus bolleana*).

Populus bolleana і *P. italica* характеризувалися високою інтенсивністю акумуляції більшості сполук важких металів. Це, ймовірно, пов'язано з тим, що текстура поверхні листків видів роду *Populus*, а саме опушеність і наявність на листовій поверхні смолистих речовин, сприяє інтенсивнішому налипанню пилових часток зі сполуками важких металів і, як наслідок, більшому проникненню токсичних елементів до органів асиміляції [4, 23].

У цілому тенденції накопичення Zn, Ni, Cd, Pb в асиміляційних органах рослин дендрарію Ботанічного саду на 5–10-ту добу фази завершення росту листка/хвої були схожі на такі у попередню фазу. Так, максимальний вміст Zn (1,07 мкг/г сирової речовини) зафіксовано у *Acer negundo*, найменший — у *Aesculus hippocastanum* (див. табл. 2). Найбільше акумулювали Pb *A. negundo* і *Tilia cordata*, найменше — *Populus bolleana*.

Концентрація Zn, Ni та Cd в листках *Populus italica* практично не змінювалася порівняно з попереднім етапом досліджень. Це свідчить про видоспецифічність акумуляції досліджених токсикантів, яка, на нашу думку, зумовлена головним чином характером їх поглинання та подальшою транслокацією в системі «грунт—рослина» [5, 7].

На початку фази завершення росту листка/хвої при сильному рівні забруднення найінтенсивніше деревними рослинами акумулювався Zn (Z_p зростав до 23,07). Високі абсолютні і відносні показники його вмісту були характерні для *Populus bolleana*, *P. italica* та *Sorbus aucuparia* (див. табл. 2).



Вміст важких металів у листках деревних рослин на 80–85-ту добу фази завершення росту листка (вміст Cd показано за допоміжною шкалою): а — умовний контроль; б — зона сильного забруднення; 1 — *Sorbus aucuparia*; 2 — *Aesculus hippocastanum*; 3 — *Tilia cordata*; 4 — *Populus italica*; 5 — *Acer negundo*; 6 — *Populus bolleana*; 7 — *Betula pendula*; * — статистично достовірна різниця щодо контролю за $p < 0,05$

Вміст Ni у *P. bolleana* і *P. italica* на 5–10-ту добу фази завершення росту листка перевищував такий в інтактних рослинах у 1,8 та 6,0 разів відповідно, тоді як найменший рівень зафіксовано у *Picea pungens*.

Темпи акумуляції Pb у більшості видів на початку фази завершення росту листка/хвої зростали в 2–3 рази порівняно з попередньою фазою. Так, *Populus bolleana*, *P. italica* і *Acer negundo* накопичували цей токсикант в 1,4–5,4 рази більше, ніж інші види, як за абсолютними, так і за відносними показниками.

Найбільшу відносну інтенсивність акумуляції Cd в умовах зони сильного забруднення (див. табл. 2) зафіксували в хвої *Picea pungens* (Z_p в 1,8–3,2 рази перевищував показники інших видів). Високий рівень Cd (0,55–0,62 мкг/г сирої речовини) виявлено в листках *Populus italica* та *Betula pendula*.

У деревних рослин спостерігали загальну закономірність максимального накопичення важких металів у зоні сильного забруднення. Так, у фотосинтезуючих органах рослин упродовж обох фаз морфогенезу листка Ni, Pb та Cd накопичувалися в 1,4–3,0 рази більше, ніж у зоні слабого забруднення.

Аналіз вмісту політантів у листках деревних рослин у період, коли ще активно не відбуваються процеси старіння і пов'язаний з цим відтік елементів з листків в інші органи, на думку деяких дослідників, найбільш об'єктивно відображає ефект накопичення важких металів [3, 16, 22, 26]. Так, на 80–85-ту добу фази завершення росту листка серед інтактних рослин вміст цинку був найбільшим у *Acer negundo* і *Tilia cordata*. Найменший рівень Zn та Ni — у *Aesculus hippocastanum* (рисунок). У листках *Populus bolleana*, *P. italica* і *T. cordata* вміст нікелю був макси-

мальним. *T. cordata*, *Aesculus hippocastanum*, *Acer negundo* та *Betula pendula* найінтенсивніше акумулювали Pb (3,0–3,25 мкг/г сирової речовини).

У ці строки спостереження найбільший вміст Zn був характерним для *Populus italica*, *P. bolleana* і *Sorbus aucuparia* (див. рисунок), його кількість перевищувала таку у контрольних рослин більш ніж у 10–11 разів. Крім того, для обох видів роду *Populus* притаманна максимальна акумуляція Ni (6,46 та 4,81 мкг/г сирової речовини відповідно), тоді як його вміст у листках *Betula pendula* був найменшим.

З високою інтенсивністю процеси поглинання і транслокації Pb відбувалися у *Populus italica*, *Acer negundo* та *P. bolleana* за дії техногенного навантаження, особливо в зоні сильного забруднення, про що свідчить збільшення вмісту цього елемента більш ніж у 5 разів порівняно з інтактними рослинами.

Висновки

За акумуляцією Zn, Ni, Pb та Cd в асиміляційних органах деревних рослин за різного рівня техногенного забруднення ми розподілили види на три групи. До першої віднесли види з високим рівнем акумуляції більшості важких металів (перевищення більш ніж у 10 разів фоновому рівню (умовний контроль)) — *Populus bolleana*, *P. italica* та *Sorbus aucuparia*, до другої — види із середнім рівнем акумуляції (перевищення фоновому рівню у 5–10 разів) — *Acer negundo* і *Tilia cordata*, до третьої — види з низьким рівнем акумуляції (перевищення фоновому рівню менш ніж у 5 разів) — *Aesculus hippocastanum*, *Picea pungens* та *Betula pendula*.

Роботу виконано у рамках проекту «Транслокація важких металів і фтору в системі “грунт—рослина” та підвищення стійкості рослин за дії абіотичних факторів» цільової комплексної міждисциплінарної програми наукових досліджень НАН України з проблем сталого розвитку, раціонального природокористування та збереження навколишнього середовища.

1. Алексеев Ю.В. Тяжелые металлы в почвах и растениях. — Л.: Агропромиздат, 1987. — 142 с.

2. Алексеев В.А., Алешукин Л.В., Безпалко Л.Е. Цинк и кадмий в окружающей среде. — М.: Наука, 1992. — 200 с.
3. Бессонова В.П. Влияние тяжелых металлов на фотосинтез растений. — Д.: ДГАУ, 2006. — 208 с.
4. Ганиятуллин Р.Х. Биоконсервация металлов в надземных органах тополя бальзамического в условиях промышленного загрязнения // Вестн. Моск. гос. ун-та леса. Лесн. вестн. — 2007. — № 1. — С. 53–56.
5. Глухов О.З., Сафонов А.И., Хиженяк Н.А. Фітоіндикація металопресингу в антропогенно трансформованому середовищі. — Донецьк: Норд-Прес, 2006. — 360 с.
6. Грицан Н.П. Оценка состояния и уровня загрязнения тяжелыми металлами фитоценозов г. Днепропетровска. — Днепропетровск, 1992. — 66 с.
7. Гришко В.М., Данильчук О.В. Акумуляція деяких важких металів тополями та особливості міграції елементів у системі «грунт—рослина» // Інтродукція рослин. — 2007. — № 3. — С. 84–91.
8. Гришко В.М., Демюра Т.А. Інтенсивність акумуляції кадмію і нікелю та рівень їх фітотоксичності за сумісної дії на проростки кукурудзи // Доп. НАН України. — 2008. — № 5. — С. 120–122.
9. Гришко В.М., Сищиков Д.В., Піскова О.М. та ін. Важкі метали: надходження в ґрунти, транслокація у рослинах та екологічна небезпека. — Донецьк: Донбас, 2012. — 303 с.
10. Гришко В.Н., Сыщиков Д.В. Функционирование глутатионзависимой антиоксидантной системы и устойчивость растений при действии тяжелых металлов и фтора. — К.: Наук. думка, 2012. — 238 с.
11. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). — М.: Агропромиздат, 1985. — 351 с.
12. Іванченко О.Є. Вплив надлишку хрому та заліза в середовищі вирощування на поглинальну активність коренів *Lathyrus odoratus* і *Lupinus × hybridus* // Фізіологія рослин та екологія: Матеріали Всеукр. наук.-практ. конф. (23–24 квітня 2003 р.). — Дніпропетровськ: ДДАУ. — 2003. — С. 37–39.
13. Ильин В.Б. Тяжелые металлы в системе почва-растение. — Новосибирск: Наука, 1991. — 325 с.
14. Ильин В.Б., Степанова М.Д. Относительные показатели загрязнения в системе почва-растение // Почвоведение. — 1979. — № 11. — С. 61–67.
15. Клеточные механизмы адаптации растений к неблагоприятным воздействиям экологических факторов в естественных условиях / Под ред. Е.Л. Кордюм. — К.: Наук. думка. — 2003. — 275 с.
16. Коршиков И.И., Котов В.С., Михеенко И.П. та ін. Взаємодія рослин з техногенно забрудненим середовищем. — К.: Наук. думка, 1997. — 175 с.

17. Мельник Н.М., Морозова Т.В. Стан пилку деревних рослин у промислових зонах міста Чернівці // Наукові основи збереження біотичної різноманітності: Темат. зб. Ін-ту екології Карпат НАН України. — Львів: Ліга-Прес, 2006. — Вип. 7. — С. 54–60.
18. Методические указания по определению тяжелых металлов в почвах сельхозугодий и продукции растениеводства. — М.: Б.и., 1989. — 62 с.
19. Настека Т.М. Види роду *Armeniaca* Mill. в урбанізованому середовищі // Матеріали Першої наук.-практ. конф. «Рослини та урбанізація» (Дніпропетровськ, 21–23 листопада 2007 р.). — Дніпропетровськ: ООО ТПГ «Куница», 2007. — С. 218–220.
20. Прилико В.В. Флористична структура рослинного покриву промайданчику Інгулецького гірничо-збагачувального комбінату // Наукові основи збереження біотичної різноманітності: Темат. зб. Ін-ту екології Карпат НАН України. — Львів: Ліга-Прес, 2006. — Вип. 7. — С. 97–103.
21. Тихоненко Д.Г. До питання про класифікацію ґрунтів України // Ґрунтознавство. — 2001. — 1, № 1–2. — С. 16–22.
22. Усманов Т.Ю., Рахманкулова З.Ф., Кулагин А.Ю. Экологическая физиология растений. — М.: Логос, 2001. — 224 с.
23. Фелленберг Г. Загрязнение природной среды. Введение в экологическую химию: Пер. с нем. — М.: Мир, 1997. — 232 с.
24. Чипиляк Т.Ф. Аутоекотологія представників роду *Hemerocallis* L. в умовах техногенного забруднення: Автореф. дис. ... канд. біол. наук: спец. 03.00.16. Екологія. — К., 2011. — 20 с.
25. Шикла М.К., Гнатенко О.Ф., Петренко Л.Р. Охрана ґрунтів. — К.: Знання, 2004. — 398 с.
26. Bunluesin Sushera, Pokethitiyook Prayad, Lanza Guy R. et al. Influences of cadmium and zinc interaction and humic acid on metal accumulation in *Ceratophyllum demersum* // Water, Air, and Soil Pollut. — 2007. — 180, N 1–4. — P. 225–235.
27. Kabata-Pendias A., Pendias H. Trace elements in soils and plants. — N. Y.: CRC Press, 2001. — 432 p.
28. Moral R., Palacios G., Gomez I. et al. Distribution and accumulation of heavy metals (Cd, Ni and Cr) in tomato plants // Fresenius Environ. Bull. — 1994. — 3. — P. 395–399.

Рекомендував до друку О.Б. Блюм

В.Н. Гришко, О.Н. Писковая

Криворожский ботанический сад НАН Украины, Украина, г. Кривой Рог

ОСОБЕННОСТИ АККУМУЛЯЦИИ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ЛИСТЬЯХ ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ ПРИ АЭРОГЕННОМ ЗАГРЯЗНЕНИИ ЭКОТИПОВ

Установлены уровень и темпы аккумуляции Zn, Ni, Pb и Cd в листьях древесных растений в разные фазы морфогенеза в условиях загрязнения выбросами предприятия по производству металлосодержащих пигментов для лакокрасочной промышленности. По показателю внутритканевого загрязнения листьев исследуемые виды распределены на три группы. К первой отнесены виды с высоким уровнем аккумуляции большинства тяжелых металлов, превышающим более чем в 10 раз фоновый уровень (*Populus bolleana* Lauche, *P. italica* (Du Roi) Moench и *Sorbus aucuparia* L.), ко второй — виды со средним уровнем аккумуляции (превышение фонового уровня в 5–10 раз) — *Acer negundo* L. и *Tilia cordata* Mill., к третьей — виды с превышением фонового уровня менее чем в 5 раз — *Aesculus hippocastanum* L., *Betula pendula* Roth. и *Picea pungens* Engelm.

Ключевые слова: аккумуляция, тяжелые металлы, древесные растения.

V.M. Gryshko, O.M. Piskova

Kryvyi Rig Botanical Garden, National Academy of Sciences of Ukraine, Ukraine, Kryvyi Rig

PECULIARITIES OF ACCUMULATION OF HEAVY METALS FROM AEROGENIC INDUSTRIAL EMISSIONS IN LEAVES OF ARBOREAL PLANTS

A level and rates of accumulation of Zn, Ni, Pb and Cd are determined, in the leaves of arboreal plants in the conditions of different levels of contamination. On index of intercellular contamination of leaves investigated species are subdivided into 3 groups. The species with the high level of accumulation of most heavy metals, which exceeds more than 10 times the base level (*Populus bolleana* Lauche, *P. italica* (Du Roi) Moench and *Sorbus aucuparia* L.) are in the first one. The second group includes plants with the average level of accumulation (exceeds the base level 5 to 10 times) — *Acer negundo* L. and *Tilia cordata* Mill. At the third group we have the species with exceeding the base level less than 5 times — *Aesculus hippocastanum* L., *Betula pendula* Roth. and *Picea pungens* Engelm.

Key words: accumulation, heavy metals, arboreal plants.