

АКУМУЛЯЦІЯ ДЕЯКИХ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ ТОПОЛЯМИ ТА ОСОБЛИВОСТІ МІГРАЦІЇ ЕЛЕМЕНТІВ У СИСТЕМІ "ГРУНТ—РОСЛИНА"

*Досліджено залежність між вмістом важких металів у ґрунтах промислових майданчиків гірничо-збагачувальних підприємств Криворіжжя та їх акумуляцією в листках, черешках, бруньках та деревині однорічних пагонів *Populus deltoides* Marsh., *P. italica* Moench, *P. simonii* Carr., *P. candicans* Ait. та *P. bolleana* L. Встановлена видоспецифічність нагромадження Fe, Zn, Ni, Cu, Pb та Cd підтверджується показниками внутрішньотканинного забруднення тополь. Визначено показники нагромадження та перерозподілу важких металів у системі "ґрунт — рослина".*

На сьогодні проблема забруднення довкілля важкими металами залишається актуальною для багатьох індустріальних регіонів України, де є техногенні зони з аномально високим вмістом у ґрунті важких металів, зокрема, територія Криворіжжя характеризується високою концентрацією найбільших у світі гірничодобувних, переробних та металургійних підприємств. Під час проведення досліджень рівня забруднення ґрунтів м. Кривий Ріг зазвичай не враховували промислові майданчики рудозбагачувальних фабрик та не визначали різні за рухомістю і доступністю для рослин форми елементів [4—7, 13]. Проте без аналізу даних щодо нагромадження елементів у ґрунті та їх перерозподілу в системі "ґрунт — рослина" неможливо з'ясувати особливості функціонування рослинних організмів та розробити біологічні системи фітоіндикації та ремедіації довкілля [1, 6, 10]. В умовах індустріальних центрів з розвиненою металургійною промисловістю зазвичай найбільша увага приділяється вивченню особливостей акумуляції рослинами заліза, міді, цинку, нікелю, свинцю та кадмію [3, 6, 9], а дослідження особливостей акумуляції важких металів рослинами певного родового комплексу, на жаль, не проводяться. То-

му метою нашої роботи було з'ясування видоспецифічних особливостей міграції заліза, міді, цинку, нікелю, свинцю та кадмію в системі "ґрунт — рослина" за різного рівня активного забруднення ґрунту зазначеними елементами.

Об'єкти і методи досліджень

Об'єктами досліджень були ґрунти промислових майданчиків рудозбагачувальних фабрик (РЗФ) Північного (зона сильного забруднення) і Центрального (зона помірною забруднення) гірничо-збагачувальних комбінатів (ПівнГЗК, ЦГЗК) та ґрунт умовно чистої ділянки (дендрарій Криворізького ботанічного саду НАН України (контроль)), а також однорічні пагони *Populus deltoides* Marsh., *P. italica* Moench, *P. simonii* Carr., *P. candicans* Ait. та *P. bolleana* L. Вміст різних за рухомістю форм заліза, міді, цинку, нікелю, свинцю та кадмію в ґрунтах та їх нагромадження в листках, черешках, бруньках та деревині однорічних пагонів визначали загальноприйнятими стандартизованими методами на атомно-адсорбційному спектрофотометрі С-115 [2, 11]. Розрахунки показників нагромадження елементу в ґрунті, активного забруднення ґрунту, ґрунтового бар'єру та внутрішньотканинного забруднення структурних елементів пагона проводили за В.Б. Ільїним [7, 8].

Результати та їхнє обговорення

Результати досліджень свідчать, що у верхньому шарі ґрунту промислових майданчиків біля джерел емісій вміст рухомих форм заліза в амонійно-ацетатній витяжці більш ніж у 2000 разів перевищував аналогічний показник у ґрунті умовно-чистої ділянки (дендрарій ботанічного саду) (табл. 1). Також у техноземах промислових майданчиків РЗФ спостерігалось підвищення рівня доступних для рослин сполук міді, цинку, нікелю та кадмію. Причому найбільш істотно (більш ніж у 3 рази) зростає вміст міді і цинку. Особливістю розподілу нагромадження важких металів, які екстрагуються амонійно-ацетатною витяжкою, є більший їх вміст у шарі ґрунту 0—5 см, ніж 10—15 см. Так, у поверхневому шарі (0—5 см) техноземів РЗФ ПівнГЗК кількість цинку була в 3,1 разу

більшою, ніж у шарі 10—15 см, заліза, міді та нікелю — відповідно у 2,8, 1,5 і 1,25 разу (див. табл. 1).

Отримані дані свідчать про аерогенний характер забруднення промислових майданчиків підприємств. Надходження сполук важких металів з промисловими викидами РЗФ призводить до збільшення вмісту у ґрунті менш рухомих форм елементів. Так, рівень заліза у ґрунті при екстракції 1н HNO₃ перевищує на 30% контрольний показник, міді та нікелю — на 20—60% (див. табл. 1). Аналіз отриманих даних свідчить про тенденцію зменшення темпів зростання вмісту менш рухомих форм важких металів порівняно з їх більш рухомими і доступними для поглинання рослинами формами. Так, якщо в амонійно-ацетатній витяжці з ґрунту промислових майданчиків вміст заліза був у 2150—9730 разів більше, ніж у ґрунті

Таблиця 1. Вміст різних за рухомістю форм важких металів у ґрунті моніторингових ділянок, розташованих у різних екологічних умовах, мг/кг ґрунту (n = 4)

Місце відбору проб	Fe	Cu	Zn	N	Pb	Cd
<i>Амонійно-ацетатна витяжка</i>						
Дендрарій (А)	0,35±0,03	0,63±0,03	4,21±0,31	1,82±0,17	1,53±0,08	1,04±0,09
Дендрарій (В)	0,35±0,03	0,22±0,02	4,66±0,49	1,0±0,02	1,79±0,18	0,67±0,07
ЦГЗК (А)	752,09±83,24*	0,25±0,03*	5,36±0,20*	2,56 ±0,03*	1,65±0,09	0,80±0,13
ЦГЗК (В)	239,50±19,67*	0,30±0,03*	5,22±0,04	2,02±0,03*	1,89±0,27	1,36±0,09*
ПівнГЗК (А)	975,60±9,15*	1,2±0,03*	13,15±1,6*	2,97±0,08*	1,71±0,06	1,74±0,12*
ПівнГЗК (В)	343,79±15,84*	0,81±0,05*	4,28±0,27	2,36±0,08*	2,02±0,05	1,45±0,1*
<i>Витяжка 1н HNO₃</i>						
Дендрарій (А)	967,09±8,17	3,72±0,02	16,42±1,53	21,12±0,5	2,03±0,11	1,07±0,1
Дендрарій (В)	1034,72±5,39	3,59±0,02	13,68±1,64	22,67±0,28	2,57±0,10	0,74±0,06
ЦГЗК (А)	1283,18±79,41*	3,87±0,01*	23,29±1,48*	26,38±0,87*	5,87±0,60*	1,22±0,09
ЦГЗК (В)	1013,80±19,61	5,30±0,04*	31,75±1,00*	28,92±0,38*	6,57±0,27*	0,76±0,07
ПівнГЗК (А)	1316,53±11,95*	4,29±0,2*	25,66±2,3*	33,82±1,88*	8,67±0,44*	3,09±0,18*
ПівнГЗК (В)	1357,39±9,04*	4,51±0,21*	22,58±0,89*	33,48±1,59*	9,59±0,41*	2,87±0,16*
<i>Валовий вміст</i>						
Дендрарій (А)	2064,89±14,00	7,78±0,30	27,91±1,09	36,05±1,05	4,72±0,38	2,61±0,18
Дендрарій (В)	1227,86±12,88	7,98±0,17	17,59±1,77	36,93±0,48	5,17±0,37	2,41±0,07
ЦГЗК (А)	2173,01±36,41*	7,64±0,25	32,63±0,65*	36,68±1,62	9,62±0,48*	3,72±0,10*
ЦГЗК (В)	1352,73±50,07*	8,16±0,05	27,28±0,73*	34,63±1,91	10,94±0,17*	2,45±0,10
ПівнГЗК (А)	2200,01±71,69	8,92±0,2*	37,45±1,25*	57,91±2,63*	10,61±0,56*	5,48±0,26*
ПівнГЗК (В)	2073,58±79,89*	8,51±0,13*	37,46±1,05*	49,74±4,30*	12,93±0,40*	4,74±0,14*

Примітки. Глибина відбору проб: А — 0—5 см; В — 10—15 см, * — різниця достовірна відносно ґрунту під колекційними насадженнями тополь дендрарію ботанічного саду (p < 0,05).

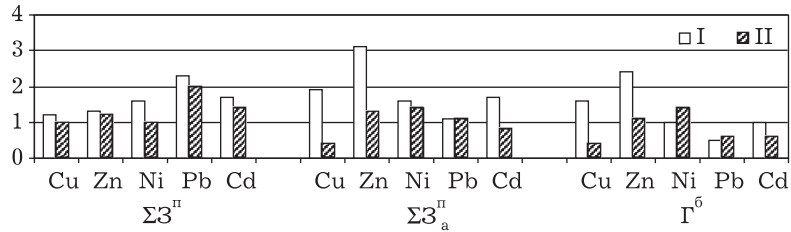


Рис. 1. Значення показників забруднення ґрунтів важкими металами в різних екологічних умовах: I — ПівнГЗК, II — ЦГЗК (глибина відбору проб 0—5 см); $\Sigma\Sigma^{II}$ — показник нагромадження елементу в ґрунті; $\Sigma\Sigma^{II}_a$ — показник активного забруднення ґрунту; Γ^b — ґрунтовий бар'єр

контролю, то при екстракції 1 н HNO_3 — лише у 1,3 разу. Таку саму закономірність встановлено для міді, цинку та нікелю. Проте вміст менш рухомих форм свинцю перевищував у 2,6—4,3 разу відповідний показник контролю, тоді як кількість його більш доступних для поглинання рослинами сполук (амонійно-ацетатна витяжка) статистично достовірно не відрізнялась від контрольного показника.

Аналіз результатів визначення вмісту різних за рухомістю форм важких металів у техноземах промислових майданчиків РЗФ двох гірничо-збагачувальних комбінатів Криворіжжя свідчить про те, що рівень забруднення ґрунту промислового майданчика ЦГЗК менший, ніж ПівнГЗК. Так, у техноземах ЦГЗК загальна кількість різних за рухомістю форм досліджених важких металів була на 20—70% менше, ніж у відповідних шарах ґрунту ПівнГЗК.

Зазначена закономірність добре узгоджується з результатами дослідження валового вмісту визначених елементів. Порівняння отриманих даних з фоновим вмістом елементів у ґрунтах Дніпропетровської області свідчить, що в техноземах промислових майданчиків вміст нікелю та кадмію в 3,4—5,8 разу перевищує фонові значення (10 і 1,0 мг/кг ґрунту відповідно). За рівнем нагромадження валових форм міді, нікелю, кадмію та свинцю спостерігається перевищення середніх значень для орних земель області [15]. Найістотніше перевищення (у 18,3 разу) зафіксоване для кадмію. Незважаючи на перевищення

вмісту важких металів у ґрунтах промислових майданчиків РЗФ гірничо-збагачувальних підприємств порівняно з їх фоновим вмістом у ґрунтах області, слід зазначити, що лише для кадмію характерне статистично достовірне перевищення (у 1,4 разу) значень гранично-допустимих концентрацій елементів у ґрунтах [14].

Для оцінки буферної здатності ґрунтів за різних рівнів забруднення В.Б. Ільїним і М.Д. Степановою запропоновані відносні показники, що враховують як валовий вміст елементів-забруднювачів, так і кількість їх рухомих форм. Згідно з отриманими даними, найбільші відносні показники нагромадження елементів у ґрунтах забруднених територій характерні для свинцю та кадмію (рис. 1). Інтенсивне забруднення техноземів міддю, цинком, нікелем і кадмієм (1,7—3,1) свідчить про високий ступінь надходження зазначених елементів до кормових ланцюгів техногенних екотопів.

У результаті проведених досліджень виявлено, що для найбільш токсичних важких металів (свинцю та кадмію), які мають високі показники відносного нагромадження у ґрунті промислових майданчиків, характерна найнижча ($\Gamma^b = 0,4—0,8$) здатність до аккумуляції в менш рухомих формах або переведення їх у такі форми, тобто ґрунтовий бар'єр (Γ^b) для цих елементів функціонує менш ефективно. Згідно з отриманими даними, більший рівень забруднення притаманний для техноземів РЗФ ПівнГЗК, ніж ЦГЗК.

Дослідження ступеня адаптивних реакцій рослин на дію важких металів неможливе без з'ясування особливостей поглинання та нагромадження останніх рослинними організмами за умов забруднення. Однак вміст того чи іншого елемента в тканинах рослин може значно змінюватися під впливом чинників навколишнього середовища, тому, крім акумуляції важких металів ґрунтами, нами були вивчені особливості їх перерозподілу в системі "ґрунт — рослина" у видів роду *Populus* як за абсолютними показниками їх вмісту, так і за показниками внутрішньотканинного забруднення різних елементів пагонів тополь.

Наведені в табл. 2 дані свідчать, що на моніторингових ділянках у всіх видів тополь найбільша кількість заліза нагромаджується в тканинах листків. В умовах дендрарію ботанічного саду максимальний рівень заліза зафіксований у листках *P. deltoides*.

Так, його вміст в асиміляційному апараті *P. deltoides* у 1,6, 2,0 і 3,1 разу більший, ніж відповідно у бруньках, черешках листків та деревині пагонів. В умовах промислових майданчиків РЗФ спостерігається більш активна акумуляція заліза асиміляційним апаратом *P. deltoides* та *P. italica* (див. табл. 2). На моніторинговій ділянці РЗФ ЦГЗК вміст заліза в листках зазначених вище видів у середньому в 3,5 разу більший, ніж у *P. bolleana*, тоді як на ПівнГЗК в асиміляційному апараті *P. italica* та *P. deltoides* його нагромаджується в 3,3—5,1 разу більше, ніж у *P. candicans*, та в 5,6—8,6 разу більше, ніж у *P. simonii*. Аналогічно картина спостерігається і щодо акумуляції заліза іншими елементами пагона *P. deltoides* та *P. italica* (табл. 3).

Найбільші значення показників внутрішньотканинного забруднення листка отримані для *P. italica* та *P. deltoides* (рис. 2). В

Таблиця 2. Вміст деяких важких металів в асиміляційному апараті видів родового комплексу *Populus*, що зростають у різних екологічних умовах

Місце відбору проб	Fe	Cu	Zn	N	Pb	Cd
<i>P. italica</i>						
Дендрарій	305,6±13,32	14,8±1,26	56,6±1,40	5,6±0,31	7,2±0,45	4,1±0,17
ЦГЗК	2567,4±161,83*	29,6±1,17*	232,1±14,05*	11,8±0,64*	24,4±1,58*	11,5±0,71*
ПівнГЗК	3392,6±222,34*	40,0±2,47*	271,7±16,62*	14,1±0,79*	40,9±3,79*	13,6±0,52*
<i>P. deltoides</i>						
Дендрарій	362,8±27,48	15,1±0,65	49,6±2,79	6,4±0,34	8,2±0,43	6,6±0,35
ЦГЗК	3301,3±266,60*	37,7±2,79*	173,6±7,63*	14,6±1,36*	27,1±1,18*	17,1±0,89*
ПівнГЗК	5224,0±342,81*	46,8±4,83*	213,3±11,45*	17,1±1,34*	37,7±1,12*	23,0±1,55*
<i>P. bolleana</i>						
Дендрарій	277,5±5,54	10,5±0,20	35,6±0,52	5,3±0,07	4,9±0,23	3,0±0,10
ЦГЗК	804,7±24,92*	35,8±2,04*	81,9±4,12*	15,9±1,11*	14,8±0,62*	6,5±0,47*
ПівнГЗК	—	—	—	—	—	—
<i>P. candicans</i>						
Дендрарій	158,6±7,48	8,6±0,17	30,0±2,29	14,4±0,76	3,9±0,14	3,3±0,21
ЦГЗК	—	—	—	—	—	—
ПівнГЗК	1015,1±47,60*	34,4±2,60*	81,1±3,90*	44,7±4,70*	13,2±1,10*	8,2±0,18*
<i>P. simonii</i>						
Дендрарій	147,6±6,02	5,5±0,34	26,1±2,01	9,7±0,39	5,4±0,26	2,6±0,11
ЦГЗК	—	—	—	—	—	—
ПівнГЗК	605,1±29,92*	26,4±1,72*	65,3±4,06*	34,1±1,98*	17,9±1,14*	7,0±0,31*

Примітки. "—" Вид відсутній; * — різниця достовірна відносно дендрарію ботанічного саду ($p \leq 0,05$).

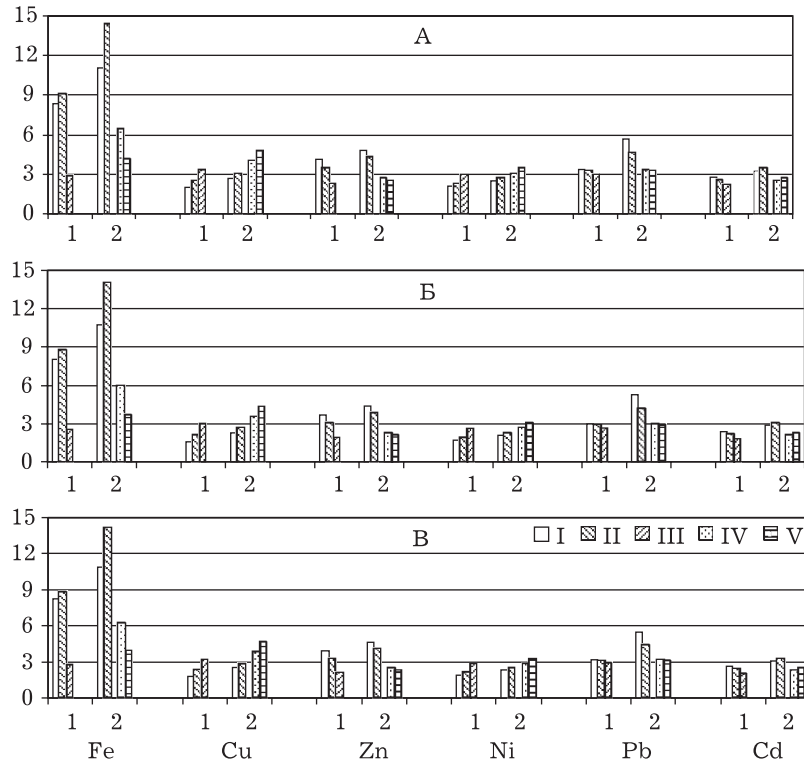


Рис. 2. Значення показника внутрішньотканинного забруднення листка (А), черешка (Б) та бруньки (В) видів тополь, що зростають у різних екологічних умовах: 1 — ЦГЗК; 2 — ПівнГЗК; I — *P. italica*; II — *P. deltoides*; III — *P. bolleana*; IV — *P. candicans*; V — *P. simonii*

умовах ПівнГЗК у *P. italica* вони у 1,8 та 2,9 разу перевищували показники *P. candicans* та *P. simonii* відповідно, тоді як для черешка та деревини пагонів ці показники були дещо більшими (у 2,3 і 3,8 разу відповідно).

Наведені вище дані добре узгоджуються з результатами досліджень Н.П. Грицан зі співавт., згідно з якими в умовах м. Кривий Ріг показник забруднення листків акації білої залізом є найвищим, і в цілому для області залізо є одним з головних забруднюючих речовин [4].

Щодо міді та нікелю, то спостерігаються видоспецифічні особливості їх акумуляції тополями. В умовах дендрарію ботанічного саду найбільше міді акумулюють *P. italica* і *P. deltoides*. Так, у листках цих видів її кількість в 1,4—2,7 разу більша, ніж у листах *P. candicans*, *P. simonii* та *P. bolleana* (табл. 2). Однак нікелю в асиміляційному апараті та

деревині пагонів *P. italica* і *P. deltoides* нагромаджується в 1,3—2,9 разу менше, ніж у *P. candicans* і *P. simonii*. Загальну закономірність розподілу вмісту міді, як і більшості вивчених важких металів, за зростанням абсолютних значень, можна представити так: деревина пагонів — черешки — бруньки — листки.

Підвищений вміст рухомих форм нікелю та міді, які належать до класу небезпечних для рослин, тварин і людини елементів, у техноземах промислових майданчиків зумовлює більшу акумуляцію їх всіма елементами пагонів тополь. Слід зазначити, що видоспецифічні особливості акумуляції міді і нікелю спостерігаються за різного рівня забруднення. Так, якщо за помірного рівня забруднення в усіх елементах пагона *P. bolleana* нагромаджується в середньому на 20% більше міді, ніж у

Акумуляція деяких важких металів тополями та особливості міграції елементів...

Таблиця 3. Вміст деяких важких металів у деревині однорічних пагонів видів родового комплексу *Populus*, що зростають у різних екологічних умовах

Місце відбору проб	Fe	Cu	Zn	N	Pb	Cd
<i>P. italica</i>						
Дендрарій	107,4±5,00	10,3±0,67	37,4±1,88	2,3±0,13	3,1±0,30	2,6±0,16
ЦГЗК	816,2±43,80*	12,4±0,64	123,5±6,77*	3,0±0,16*	7,9±0,47*	5,1±0,23*
ПівнГЗК	1106,2±55,87*	19,6±1,12*	149,7±6,68*	4,0±0,32*	14,9±0,91*	6,4±0,26*
<i>P. deltoides</i>						
Дендрарій	116,3±7,79	9,2±0,85	29,6±2,32	3,3±0,16	4,7±0,23	2,3±0,09
ЦГЗК	964,9±39,12*	15,6±0,61*	79,9±3,90*	5,0±0,33*	11,8±0,79*	4,1±0,30*
ПівнГЗК	1581,0±71,98*	21,1±1,08*	103,5±6,43*	6,3±0,27*	18,0±1,08*	6,1±0,90*
<i>P. bolleana</i>						
Дендрарій	79,4±4,38	6,7±0,49	17,4±0,27	2,2±0,14	2,8±0,18	1,9±0,04
ЦГЗК	166,8±6,58*	17,5±0,56*	26,1±1,70*	4,8±0,18*	6,2±0,16*	2,6±0,16*
ПівнГЗК	—	—	—	—	—	—
<i>P. candicans</i>						
Дендрарій	88,0±2,62	3,0±0,33	20,6±0,51	6,5±0,14	1,4±0,10	2,0±0,09
ЦГЗК	—	—	—	—	—	—
ПівнГЗК	492,9±37,42*	9,6±0,27*	39,1±1,31*	14,8±0,41*	3,6±0,17*	3,5±0,21*
<i>P. simonii</i>						
Дендрарій	82,4±4,26	3,1±0,22	18,9±0,91	4,4±0,22	2,2±0,14	1,1±0,04
ЦГЗК	—	—	—	—	—	—
ПівнГЗК	272,0±10,62*	12,4±0,72*	32,0±1,62*	12,0±0,66*	5,5±0,37*	2,0±0,09*

Примітки. "—" Вид відсутній; * — різниця достовірна відносно дендрарію ботанічного саду ($p \leq 0,05$).

P. italica та *P. deltoides*, то за високого рівня — найбільша кількість спостерігається у *P. italica* і *P. deltoides*. Про зазначену видоспецифічність поглинання тополями міді свідчать і найвищі показники внутрішньотканинного забруднення черешка у *P. simonii*, *P. candicans* та *P. bolleana*, тоді як за абсолютними значеннями більше міді нагромаджується у черешках листків *P. deltoides* та *P. italica*.

Серед видів тополь, що досліджувались, найбільшими акумуляторами високонебезпечних елементів, а саме цинку, свинцю і кадмію [12], є *P. deltoides* і *P. italica*. Так, ці види в умовах контролю нагромаджують в асиміляційному апараті та деревині пагонів у 1,2—2,5 разу більше зазначених елементів, ніж *P. bolleana*, *P. candicans*, *P. simonii* (див. табл. 2, 3). Забруднення ґрунтів промислових майданчиків кадмієм та збільшення вмісту рухомих форм свинцю та цинку призводить до підвищеної акуму-

ляції цих елементів як в асиміляційному апараті тополь, так і у деревині пагонів (див. табл. 2, 3). Найбільші темпи нагромадження високонебезпечних важких металів в умовах РЗФ ГЗК характерні для *P. deltoides* і *P. italica*. Порівнюючи темпи їх акумуляції слід зазначити, що за умов забруднення в листках та деревині пагонів цих видів кадмію та цинку нагромаджується більше (у 3,2—3,3 разу), ніж свинцю (у 2,1—2,3 разу). Це добре узгоджується з встановленим раніше фактом підвищення вмісту рухомих та доступних для поглинання рослин форм цинку та кадмію порівняно із свинцем у технозомах промислових майданчиків (див. табл. 1).

Отримані результати дозволяють стверджувати, що у *P. deltoides* та *P. italica*, ймовірно, існують певні фізіолого-біохімічні механізми, які зумовлюють більшу акумуляцію деяких важких металів та порівняно менший рівень ушкодження цих видів [16].

Проте, слід зазначити, що для високонебезпечних важких металів більшою мірою характерний "кумулятивний" ефект, ніж для менш токсичних [7]. Наведене припущення також підтверджується більш високими (на 30—80%) показниками внутрішньотканинного забруднення всіх структурних елементів пагонів зазначених видів (див. рис. 2).

Отже, отримані результати свідчать про наявність активного забруднення техноземів промислових майданчиків гірничозбагачувальних підприємств Криворіжжя сполуками міді, цинку, нікелю та кадмію. Перевищення більш ніж у 2 рази вмісту в ґрунті найбільш доступних для рослин форм зумовлює акумуляцію важких металів у тополях. Загальною закономірністю розподілу важких металів є зростання їх вмісту в тканинах і органах (у порядку збільшення): деревина пагонів — черешки листка — бруньки — листки.

Робота виконана за проектом цільової програми НАН України "Новітні медико-біологічні проблеми та оточуюче середовище людини".

1. Васильев А.Н., Мартыненко А.И. Современные подходы к решению проблемы загрязнения почв тяжелыми металлами // Эко-технологии и ресурсосбережение. — 2000. — № 5. — С. 47—52.

2. ГОСТ 26657-85. Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Методы определения содержания фосфора. — 5 с.

3. Гришко В.М., Данильчук О.В., Кучма В.М. Вміст важких металів в деревині пагонів і бруньках *Populus italica* L. за умов забруднення навколишнього середовища // Матеріали XI з'їзду Укр. ботан. т-ва. — Харків. — 2001. — С. 116.

4. Гришко В.Н., Данильчук А.В., Кучма В.Н. Накопление тяжелых металлов в листьях *Populus italica* в условиях стрессовых воздействий выбросов горно-металлургического предприятия // Тр. Междунар. конф. по экологической физиологии растений "Актуальные вопросы экологической физиологии растений в XXI веке". — Сыктывкар, 2001. — С. 49—50.

5. Добровольский И.А., Цветкова Н.Н., Баранова Л.К. Некоторые закономерности распределения железа в техногенных ландшафтах Кривбасса // Мониторинговые исследования лесных экосистем степной зоны, их охрана и рациональное использование. — Днепропетровск: ДГУ, 1988. — С. 69—72.

6. Досвід комплексної оцінки та картографування факторів техногенного впливу на природне середовище міст Кривого Рогу та Дніпродзержинська / І.Д. Багрій, А.М. Білоус, Ю.Г. Вилкул та ін. — К.: Фенікс, 2000. — 110 с.

7. Ильин В.Б. Тяжелые металлы в системе почва-растение. — Новосибирск: Наука, Сиб. отделение, 1991. — 151 с.

8. Ильин В.Б., Степанова М.Д. Относительные показатели загрязнения в системе почва-растение // Почвоведение. — 1979. — № 11. — С. 61—67.

9. Кулагин А.А., Шагиева Ю.А. Древесные растения и биологическая консервация промышленных загрязнителей. — М.: Наука, 2005. — 190 с.

10. Куликова Н.Н., Парадина Л.Ф., Сутурин А.Н. Фитоиндикация содержания подвижных форм соединений тяжелых металлов в осадках промышленно-бытовых сточных вод // Агрохимия. — 2004. — № 11. — С. 71—79.

11. Методические указания по определению тяжелых металлов в почвах сельхозугодий и продукции растениеводства. — М.: ЦИНАО, 1989. — 62 с.

12. Охорона ґрунтів: Підручник / М.К. Шичула та ін. — К.: Знання, 2004. — 234 с.

13. Савосько В.Н. Некоторые особенности распределения подвижных форм тяжелых металлов в почвах горнорудного региона под различными растительными ассоциациями // Интродукция растений. — 2000. — № 1. — С. 161—166.

14. Фоногий вміст мікроелементів у ґрунтах України / А.І. Фадєєв, Я.В. Пащенко. — Харків: ННЦ "Ін-т ґрунтознавства та агрохімії ім. О.Н. Соколовського", 2003. — 118 с.

15. Экологические основы природопользования / Н.П. Грицан, Н.В. Шапарь, Г.Г. Шматков и др. — Днепропетровск: ИППЭ НАН Украины, 1998. — 409 с.

16. Kabata-Pendias A., Pendias H. Trace elements in soils and plants. — Boca Raton: CRC Press, 2001. — 432 p.

Рекомендувала до друку
Н.В. Заіменко

В.Н. Гришко, А.В. Данильчук

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

АККУМУЛЯЦИЯ НЕКОТОРЫХ ТЯЖЕЛЫХ
МЕТАЛЛОВ ТОПОЛЯМИ И ОСОБЕННОСТИ
МИГРАЦИИ ЭЛЕМЕНТОВ В СИСТЕМЕ
"ПОЧВА — РАСТЕНИЕ"

Исследована зависимость между содержанием тяжелых металлов в почве промышленных площадок горно-обогатительных предприятий Криворожья и их аккумуляцией в листьях, черешках, почках и древесине однолетних побегов *Populus deltoides* Marsh., *P. italica* Moench, *P. simonii* Carr., *P. candicans* Ait. и *P. bolleana* L. Установленная видоспецифичность накопления Fe, Zn, Ni, Cu, Pb и Cd подтверждена показателями внутритканевого загрязнения тополей. Определены показатели накопления и перераспределения тяжелых металлов в системе "почва — растение".

V.N. Gryshko, A.V. Danilchuk

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

ACCUMULATION OF SOME HEAVY
METALS BY POPLARS AND FEATURES
OF ELEMENTS MIGRATION
IN THE "SOIL — PLANT" SYSTEM

We are studied dependence between maintenance of heavy metals in soil on the industrial grounds of ore mining enterprises of Kryvorozh'ya and their accumulation in leaves, petioles, buds and wood of one year shoots of *Populus deltoides* Marsh., *P. italica* Moench, *P. simonii* Carr., *P. candicans* Ait. and *P. bolleana* L. It was determined species-specificity in accumulation of Fe, Zn, Ni, Cu, Pb and Cd, confirmed with the indexes of intratissue contamination of poplars. It has been established the coefficients of accumulation and redistribution of heavy metals in the "soil — plants" system.