

УДК 504.53.062 : 633/635

Л. О. Герасимчук, Р. А. Валерко

Житомирський національний агроекологічний університет

## МІГРАЦІЯ CU, ZN, PB, CD У СИСТЕМІ «ГРУНТ–РОСЛИНА»

*Проведено дослідження із встановлення інтенсивності міграції Cu, Zn, Pb, Cd у системі «грунт–рослина». Установлено, що максимальними коефіцієнтами накопичення у загальній фітомасі рослин характеризувалися мідь та кадмій, а мінімальними – свинець. У розрізі окремих фракцій фітомаси накопичувальна здатність щодо до всіх досліджуваних важких металів зменшується в ряді: підземна фракція > генеративна фракція (зерно) > вегетативна фракція (солома). Фітофільтраційна здатність рослин вівса залежала як від характеру та дози полютанта, так і від терміну експозиції. Найбільшою здатністю до накопичення характеризувався кадмій, а мінімальною здатністю до фітофільтрації вівсом – мідь.*

*Ключові слова: важкі метали, міцнофіксовані форми, коефіцієнт накопичення, фітофільтраційна здатність, загальна фітомаса, підземна, вегетативна, генеративна фракції фітомаси.*

**Вступ.** Важкі метали, будучи одними з найбільш поширених забруднювачів навколишнього середовища, безпосередньо впливають на загострення екологічної ситуації і зниження стабільності й стійкості як природних, так і штучно створених екосистем в Україні загалом та в Поліссі зокрема [3, 10 та ін.]. Накопичення у ґрунті міцнофіксованих форм важких металів прямо чи опосередковано призводить до деструкції асиміляційного потенціалу фітомаси та зниження продуктивності сільськогосподарських культур, погіршення якості рослинницької продукції [4, 7, 11]. В умовах посилення техногенно-антропогенного тиску на біосферу пріоритетного значення набуває екологічна оцінка основних компонентів природних і штучних екосистем, установа шляхів міграції та механізмів акумуляції забруднюючих речовин, зокрема й важких металів, у компонентах довкілля насамперед, ґрунтовому й рослинному покривах.

Зважаючи на вище викладене вище, ми поставили за мету встановити особливості міграції Cu, Zn, Pb, Cd у системі «грунт–рослина» за умові імпаکتного поліелементного забруднення дерново-підзолистого супіщаного ґрунту.

**Об'єкти, методика та умови досліджень.** Дослідження проводилися протягом 2008–2010 р. на дерново-підзолистому глеюватому супіщаному ґрунті з наступними агрохімічними показниками: уміст гумусу – 1,12 %, азоту лужногідролізованого – 72 мг/кг ґрунту; рухомого фосфору – 270 мг/кг, обмінного калію – 130 мг/кг ґрунту, рН<sub>сольове</sub> – 5,1 [2]. Речовинами-забруднювачами були обрані мідь, цинк, свинець та кадмій. Ґрунт забруднювали сумішшю металів – 1, 5, 10 і 15 ГДК кожного на фоні застосування нітроамфоски. При цьому виходили з даних [1], що ГДК валових форм для Cu складає 55 мг/кг ґрунту, Zn – 100 мг/кг, Pb – 32 мг/кг, Cd – 3 мг/кг. Важкі метали вносили у 0–20 см шар ґрунту у вигляді оцтовокислих солей. У період проведення досліджень на дослідних ділянках висівався овес сорту Буг.

Інтенсивність міграції того чи іншого елемента з ґрунту в рослину оцінювали за коефіцієнтом накопичення (Кн), який визначали як відношення вмісту металу у фітомасі до концентрації його міцнофіксованих форм у ґрунті. Залежно від локалізації елемента в рослині визначали коефіцієнт накопичення у підземній, вегетативній і генеративній фракції фітомаси.

**Результати та їх обговорення.** Переміщення важких металів із ґрунту в рослину визначається концентрацією в ньому їх рухомих форм. Кількість доступних для рослин елементів у ґрунті залежить від низки чинників, серед яких особливо слід

відмітити мінералогічний та гранулометричний склад ґрунту, уміст у ньому валових форм мікроелементів, уміст органічної речовини, фізико-хімічні властивості (рН ґрунтового розчину, ємність катіонного обміну) [5, 6 та ін.].

Дослідженнями встановлено, що максимальними коефіцієнтами накопичення в загальній фітомасі рослин характеризувалися мідь та кадмій, коефіцієнти накопичення яких у фазу повної стиглості за умови забруднення, еквівалентного 1 ГДК, становили відповідно 0,386 і 0,343, а за умови забруднення, еквівалентного 5 ГДК – 0,464 та 0,418 (табл. 1). Інтенсивне накопичення рослинами міді зумовлене тим, що вона є важливим для ярих зернових культур мікроелементом, який бере безпосередню участь у синтезі білків [12].

Зважаючи на те, що вміст цього елемента в незабрудненому ґрунті невисокий (2,9 мг/кг), додаткове його привнесення скоріше стимулювало ріст і розвиток рослин, поповнюючи нестачу у ґрунті, ніж негативно впливало на них.

Причиною високих коефіцієнтів накопичення кадмію загальною фітомасою вівса, на наш погляд, є висока мобільність цього елемента: він рухомий у ґрунті, добре розчиняється у воді, легко поглинається рослинами, проникає в усі їх органи і може заміщувати цинк у багатьох біохімічних процесах, оскільки за хімічними властивостями є дуже близьким до нього. Останнє можливе через хімічну спорідненість Cd із Zn, через що рослинний організм, вочевидь, не розрізняє ці елементи. На це вказують також і автори робіт [8]. Цинк же, будучи яскравим елементом – біофілом, бере участь у багатьох процесах метаболізму, особливо в тих, що протікають у репродуктивних органах рослин. Оскільки кадмій рухається разом з ним, то за таких обставин забруднення цим елементом органів запасання асимілянтів у більшості сільськогосподарських культур стає майже неминучим.

### 1. Динаміка інтенсивності переходу важких металів у системі «ґрунт–рослина» у разі поліметалічного імпактного забруднення (середнє за 2008–2010 рр.)

Назва елемента	Варіант досліджу	Уміст у ґрунті, мг/кг	Уміст у загальній фітомасі, мг/кг	$K_{n_{заг}}$	Уміст у підземній фітомасі, мг/кг	$K_{n_{під}}$	Уміст у вегетативній фітомасі, мг/кг	$K_{n_{вег}}$	Уміст у генеративній фітомасі, мг/кг	$K_{n_{ген}}$
Cu	Контроль	2,91	0,93	0,320	0,58	0,199	0,15	0,052	0,20	0,069
	1 ГДК	8,59	3,10	0,386	1,97	0,245	0,40	0,049	0,74	0,092
	5 ГДК	55,30	24,63	0,464	15,79	0,297	3,33	0,061	5,52	0,105
НІР <sub>0,5</sub>			1,96	-	1,24	-	0,12	-	0,38	-
V, %			-	18,48	-	19,85	-	11,56	-	20,56
Zn	Контроль	6,83	1,83	0,268	1,26	0,184	0,25	0,037	0,32	0,047
	1 ГДК	21,92	6,77	0,308	4,68	0,214	0,87	0,040	1,22	0,056
	5 ГДК	158,65	56,33	0,355	38,89	0,245	7,71	0,049	9,73	0,061
НІР <sub>0,5</sub>			3,56	-	2,38	-	0,31	-	0,57	-
V, %			-	14,03	-	14,23	-	14,87	-	12,98
Pb	Контроль	1,34	0,17	0,127	0,12	0,090	0,024	0,018	0,026	0,019
	1 ГДК	10,77	1,43	0,133	1,04	0,097	0,187	0,017	0,203	0,019
	5 ГДК	90,88	14,59	0,161	10,76	0,118	1,85	0,020	1,98	0,022
НІР <sub>0,5</sub>			0,98	-	0,74	-	0,13	-	0,11	-
V, %			-	12,93	-	14,32	-	8,33	-	8,66
Cd	Контроль	0,01	0,0033	0,335	0,0026	0,260	0,0001	0,010	0,0006	0,060
	1 ГДК	1,08	0,37	0,343	0,28	0,259	0,018	0,017	0,072	0,067
	5 ГДК	7,25	3,03	0,418	2,26	0,312	0,183	0,025	0,59	0,081
НІР <sub>0,5</sub>			0,23	-	0,17	-	0,01	-	0,03	-
V, %			-	12,53	-	21,80	-	43,30	-	15,42

Мінімальними коефіцієнтами накопичення, що коливались від 0,133 до 0,161, характеризувався свинець, який не є фізіологічно необхідним мікроелементом, тому

й не поглинається рослинами вівса у значних кількостях.

У розрізі окремих фракцій фітомаси найбільшою накопичувальною здатністю щодо всіх досліджуваних важких металів характеризувалася підземна фракція, яка залежно від рівня забруднення містила від 1,97 до 15,79 мг/кг Cu від загального вмісту у фітомасі; від 4,68 до 38,89 мг/кг Zn; від 1,04 до 10,76 мг/кг Pb і від 0,28 до 2,26 мг/кг Cd (див. табл. 1). Мінімальними коефіцієнтами накопичення характеризувалася вегетативна фракція, тоді як генеративна проявляла чітко виражену накопичувальну здатність щодо всіх елементів. За коефіцієнтами накопичення важких металів у загальній фітомасі вівса встановлено такий спадаючий ряд: Cu > Cd > Zn > Pb. Для підземної фракції ряд інтенсивності накопичення має вигляд: Cd > Cu > Zn > Pb; для вегетативної – Cu > Zn > Cd і для генеративної – Cu > Cd > Zn > Pb. Установлено закономірність нерівномірної локалізації Cu, Zn, Pb і Cd у фракціях фітомаси в умовах імпаکتного поліелементного забруднення, уміст яких зменшується в ряді: підземна фракція > генеративна фракція (зерно) > вегетативна фракція (солома).

Фітофільтраційна здатність рослин вівса залежала як від характеру та дози поллютанта, так і від терміну експозиції (табл. 2–3). Найбільшою здатністю до накопичення характеризувався кадмій, фітофільтрація якого за три роки склала 19,2 % від початково внесеної дози поллютанта при забрудненні, еквівалентному 1 ГДК, та 31,6 % при забрудненні, еквівалентному 5 ГДК. Мінімальною здатністю до фітофільтрації вівсом володіла мідь, фітофільтрація якої за три роки склала 12 % від початково внесеної дози поллютанта при забрудненні, еквівалентному 1 ГДК, та 18,8 % при забрудненні, еквівалентному 5 ГДК.

Більш інтенсивно фітофільтраційна здатність вівса проявляється у перший рік після забруднення, поступово знижуючись до кінця третього року спостережень.

## 2. Фітофільтраційна здатність вівса щодо важких металів за умов імпаکتного поліелементного забруднення

Назва елемента	Рік спостереження	Рівень забруднення	Концентрація, % від початково внесеної дози полютантів				
			грунт	загальна фітомаса	підземна фітомаса	вегетативна фітомаса	генеративна фітомаса
Cu	2008	1 ГДК	32,1	6,2	3,9	0,8	1,5
		5 ГДК	32,5	9,8	6,3	1,3	2,2
	2009	1 ГДК	11,6	3,7	2,3	0,5	0,9
		5 ГДК	19,9	5,8	3,8	0,7	1,3
	2010	1 ГДК	7,8	2,1	1,3	0,3	0,5
		5 ГДК	13,9	3,2	2,1	0,4	0,7
Σ 1 ГДК				12,0	7,5	1,6	2,9
Σ 5 ГДК				18,8	12,2	2,4	4,2
Zn	2008	1 ГДК	35,8	6,8	4,7	0,9	1,2
		5 ГДК	49,2	11,2	7,8	1,5	1,9
	2009	1 ГДК	16,9	4,6	3,2	0,6	0,8
		5 ГДК	27,1	7,6	5,3	1,0	1,3
	2010	1 ГДК	13,1	2,4	1,7	0,3	0,4
		5 ГДК	18,8	4	2,8	0,6	0,6
Σ 1 ГДК				13,8	9,6	1,8	2,4
Σ 5 ГДК				22,8	15,9	3,1	3,8

Варто зазначити, що фільтрація кадмію ґрунтом і рослинами за умови забруднення, еквівалентного 5 ГДК, на кінець вегетації 2010 р. має однакові значення, тоді як мідь і свинець більш інтенсивно накопичуються ґрунтом, а цинк – рослинами. При забрудненні, еквівалентному 1 ГДК, а кінець 3-го року вегетації

вівса простежувалася дещо інша тенденція: мідь і свинець більш інтенсивно накопичувалися рослинами, кадмій – ґрунтом, а фільтрація цинку ґрунтом і рослинами мала приблизно однакові значення.

### 3. Фітофільтраційна здатність вівса щодо важких металів при імпактічному поліелементному забрудненні

Назва елемента	Рік спостереження	Рівень забруднення	Концентрація, % від початково внесеної дози поліютантів					
			ґрунт	загальна фітомаса	підземна фітомаса	вегетативна фітомаса	генеративна фітомаса	
Pb	2008	1 ГДК	50,1	4,5	3,2	0,6	0,7	
		5 ГДК	72,6	9,1	6,6	1,2	1,3	
	2009	1 ГДК	31,4	3,1	2,2	0,4	0,5	
		5 ГДК	59,4	6,4	4,6	0,9	0,9	
	2010	1 ГДК	19,5	2,1	1,5	0,3	0,3	
		5 ГДК	38,4	4,3	3,2	0,5	0,6	
	Σ 1 ГДК				9,7	6,9	1,3	1,5
	Σ 5 ГДК				19,8	14,4	2,6	2,8
Cd	2008	1 ГДК	54,7	12,3	9,3	0,6	2,4	
		5 ГДК	61,7	20,2	15,1	1,2	3,9	
	2009	1 ГДК	30,7	4,4	3,3	0,2	0,9	
		5 ГДК	51,8	7,2	5,4	0,4	1,4	
	2010	1 ГДК	23,0	2,5	1,9	0,1	0,5	
		5 ГДК	31,5	4,2	3,2	0,2	0,8	
	Σ 1 ГДК				19,2	14,5	0,9	3,8
	Σ 5 ГДК				31,6	23,7	1,8	6,1

Розглядаючи фітофільтрацію в розрізі окремих фаз розвитку культури протягом усього періоду спостережень найінтенсивніше поглинались елементи у першу половину вегетації до фази цвітіння включно.

Зауважимо, що незалежно від характеру забруднювача дози його внесення й терміну експозиції серед фракцій фітомаси вівса максимальною фітофільтраційною здатністю відзначалася підземна фракція, а мінімальною – вегетативна (солома).

**Висновки.** 1. За коефіцієнтами накопичення важких металів у загальній фітомасі вівса встановлено такий спадаючий ряд: Cu > Cd > Zn > Pb. Для підземної фракції ряд інтенсивності накопичення має вигляд: Cd > Cu > Zn > Pb; для вегетативної – Cu > Zn > Pb > Cd і для генеративної – Cu > Cd > Zn > Pb. 2. Уміст Cu, Zn, Pb і Cd у фракціях фітомаси в умовах імпактічного поліелементного забруднення зменшується в ряді: підземна фракція > генеративна фракція (зерно) > вегетативна фракція (солома). 3. Фітофільтраційна здатність рослин вівса залежала як від характеру та дози поліютанта, так і від терміну експозиції. Найбільшою здатністю до накопичення характеризувався кадмій, а мінімальною – мідь. 4. Серед фракцій фітомаси вівса максимальною фітофільтраційною здатністю відзначалася підземна фракція, а мінімальною – вегетативна.

**Подальші дослідження,** слід зосередити на встановленні особливостей міграції важких металів за профілем дерново-середньопідзолистого супіщаного ґрунту.

**Бібліографічний список:** 1. Агроекологічний моніторинг та паспортизація сільськогосподарських земель: методично-нормативне забезпечення / за заг. ред. В. П. Патики, О. Г. Тараріка. – К.: Фітосоціоцентр, 2002. – С. 35–37; 2. Валерко Р. А. Важкі метали в урбоедафотопях та фітоценозах м. Житомира і його приміської зони: дис. на здобуття наук. ступеня канд. с.-г. наук: 03.00.16 «Екологія» / Р. А. Валерко. – Ж., 2009. – 164 с. 3. Добровольський Г. В. Екологія почв / Г. В. Добровольський, Е. Д. Никитин. – М.: Изд-во МГУ,

2006. – 476 с. 4. Источники поступления тяжелых металлов и их воздействие на агроэкосистемы / Т. Н. Абрамова, В. К. Кузнецов, Н. И. Исамов [и др.] // Тяжелые металлы, радионуклиды и элементы – биофилы в окружающей среде : доклады 2-ой междунар. научно-практ. конф. – Семипалатинск, 2002. – Т. 2. – С. 413–416. 5. Кабата-Пендиас А. Микроэлементы в почвах и растениях / А. Кабата-Пендиас, Х. Пендиас; [пер. с англ. Д. Гричука, Е. Янина; под ред. Ю. Е. Саета.]. – М.: Мир, 1989. – 439 с. 6. Ковда В. А. Биогеохимия почвенного покрова / В. А. Ковда. – М.: Наука, 1985. – 263 с. 7. Козьякова Н. О. Міграція важких металів в системі «грунт–рослина» – екотоксичний критерій їх небезпечності / Н. О. Козьякова, Н. А. Макаренко, В. М. Кавецький // Науковий вісник НАУ. – 2000. – Вип. 32. – С. 365–370. 8. Мислива Т. М. Важкі метали в урбоєдафотобах і фітоценозах на території м. Житомира / Т. М. Мислива, Л. О. Онопрієнко // Вісник ХНАУ ім. В. В. Докучаєва. Сер. «Ґрунтознавство, агрохімія, землеробство, лісове господарство». – 2009. – № 1. – С. 89–95. 9. Мислива Т. М. Мідь у ґрунтах Житомирського Полісся / Т. М. Мислива // Вісник ЖНАЕУ. – 2010. – № 2. – С. 30–45. 10. Орлов Д. С. Химия почв / Д. С. Орлов. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1985. – 376 с. 11. Соколов О. А. Экологическая безопасность и устойчивое развитие. Кн. 1. Атлас распределения тяжелых металлов в объектах окружающей среды / О. А. Соколов, В. А. Черников. – Пушкино : ОНТИ ПНЦ РАН, 1999. – 164 с; 12. Школьник М. Я. Микроэлементы в жизни растений / М. Я. Школьник. – М.: Наука, 1978. – 250 с.

**Герасимчук Л. А., Валерко Р. А.**

**МИГРАЦИЯ Cu, Zn, Pb, Cd В СИСТЕМЕ «ПОЧВА - РАСТЕНИЕ»**

*Проведены исследования по установлению интенсивности миграции Cu, Zn, Pb, Cd в системе «почва - растение». Установлено, что максимальными коэффициентами накопления в общей фитомассе растений характеризовались медь и кадмий, а минимальными – свинец. В разрезе отдельных фракций фитомассы накопительная способность по отношению ко всем исследуемым тяжелым металлам уменьшается в ряду: подземная фракция > генеративная фракция (зерно) > вегетативная фракция (солома). Фитофилтрационная способность растений овса зависела как от характера и дозы поллютантов, так и от срока экспозиции. Наибольшей способностью к накоплению характеризовался кадмий, а минимальной способностью к фитофилтрации овсом – медь.*

*Ключевые слова: тяжелые металлы, сильнофиксированные формы, коэффициент накопления, фитофилтрационная способность, общая фитомасса, подземная, вегетативная, генеративная фракции фитомассы.*

**Gerasimchuk L. O., Valerko R. A.**

**Cu, Zn, Pb and Cd MIGRATION IN THE SOIL-PLANT SYSTEM**

*The paper discusses the investigations conducted with the aim to establish Cu, Zn, Pb and Cd migration intensity in the soil-plant system. It has been found that copper and cadmium showed the maximum accumulation coefficients in the total plant phytomass, and lead was characterized by the minimum ones. As to the individual phytomass sections, the accumulating ability in respect to all the investigated heavy metals decreased in the following sequence: underground fraction → generation fraction (grain) → vegetative fraction (straw). The phytofilterability of oats depended on pollutant nature and rate as well as on the exposure time. Cadmium was characterized by the greatest accumulating ability, and copper possessed the minimum oats phytofiltration ability.*

*Keywords: heavy metals, strongly fixed forms, accumulation coefficient, phytofilterability, total phytomass; underground, vegetative, generative phytomass fractions.*