

УДК 631.45:574.4

Клименко І.І., кандидат сільськогосподарських наук
ННЦ «ІНСТИТУТ ЗЕМЛЕРОБСТВА НААН»

ПРОДУКТИВНІСТЬ АГРОЦЕНОЗІВ ВІВСА В УМОВАХ ЗАБРУДНЕННЯ ВАЖКИМИ МЕТАЛАМИ СІРОГО ЛІСОВОГО ҐРУНТУ

Встановити можливість використання посівів вівса півчастого і голозерного для фітореMediaції ґрунтів, забруднених цинком, свинцем, кадмієм в умовах Правобережного Лісостепу. Методи. Польовий, лабораторний, математико-статистичний. Результати. Проведені дослідження свідчать, що вирощування різних сортів вівса на штучно забруднених екотопах важкими металами сірого лісового ґрунту призвело до змін їх кількісних, якісних, токсикологічних характеристик врожаю, а також визначення можливості використання зерна. Висновки. Установлено, що в умовах Правобережного Лісостепу на території з вмістом у сірому лісовому ґрунті свинцю до 1000 мг, цинку до 500 і кадмію до 20 мг/кг посіви вівса півчастого сорту Нептун та вівса голозерного сорту Соломон виявили високу толерантність до забруднення, тому є можливим проведення фітореMediaції з їх використанням, однак різке погіршення токсикологічних характеристик зерна цих культур робить неможливим його застосування у продовольчих і кормових цілях.

Ключові слова: важкі метали, фітореMediaція, забруднення ґрунту, овес півчастий і голозерний, продуктивність, фізіологічна ефективність, кореневі бар'єри.

Як у нашій країні, так і за рубежом проблему забруднення ґрунтів важкими металами (ВМ), а також пошуку способів їх очищення для ефективного використання територій широко досліджують. Вже сьогодні маємо ряд негативних наслідків антропопресії, серед яких понадприродне накопичення ґрунтом ВМ, для яких не існує механізмів самоочищення – вони лише переходять із одного природного середовища в інше, залишаючи негативні наслідки взаємодії. В Україні налічується 8 % земель сільськогосподарського призначення з високим умістом ВМ, які переважають їх природні рівні [1]. Накопичення екотоксикантів ґрунтом є особливо небезпечним в агроландшафтах, оскільки це може унеможливити виробництво якісної сільськогосподарської продукції [2, 3]. За таких умов необхідно обрати найменш енергоємні й дешеві способи очищення ґрунтів. У цьому контексті особливої уваги заслуговує метод фітореMediaції, який передбачає використання рослин, толерантних до ВМ і спроможних не лише забезпечити отримання продукції рослинництва, а й ліквідувати поліутанти (елементи-забруднювачі) за рахунок відчуження їх із ґрунту [4–6]. У наукових джерелах відмічені переконливі результати з пошуку рослин-акумуляторів ВМ та розроблено конкретні способи фітореMediaції ґрунтів за їхнього використання [7–9]. Серед сільськогосподарських культур рослинами-ремедіантами є кукурудза, ріпак ярий, деякі овочеві, зернові, бобові культури та багаторічні трави [10–15].

Метою наших досліджень було в умовах Правобережного Лісостепу встановити можливість використання посівів вівса півчастого і голозерного для фітореMediaції ґрунтів, забруднених цинком, свинцем, кадмієм.

Методи і методика досліджень. Дослідження проводили у дрібноділянковому досліді на сірому лісовому ґрунті з аномальним насиченням ВМ в умовах Правобережного Лісостепу (дослідне поле ННЦ «Інститут землеробства НААН», Київська область). Вивчали сумарний вплив цинку, свинцю, кадмію на продуктивність вівса півчастого (сорт Нептун) і вівса голозерного (сорт Соломон).

© Клименко І.І., 2016

Облікова площа ділянки 4 м², повторність – чотириразова. Досліджували варіанти з природним фоном кислоторозчинної фракції свинцю – 10 мг/кг, цинку – 5, кадмію – 0,2 мг/кг ґрунту (варіант № 1 – контроль) та зі штучно створеними фонами: варіант № 2 – перевищення природного фону металів у 10 разів, варіант № 3 – перевищення природного фону у 100 разів, варіант № 4 – перевищення природного фону у 5 разів. Створюючи фони, зважали саме на кислоторозчинну фракцію металів, оскільки саме вона вважається основною техногенною складовою запасу ВМ у ґрунті [16].

До закладання дослідів агрохімічний фон ґрунту на всій ділянці характеризувався середньою реакцією середовища, низьким умістом гумусу (1,63 %), дуже низьким – гідролізованих форм азоту (72 мг/кг ґрунту), високим – рухомого фосфору та обмінного калію (відповідно 242,0 і 207,0 мг/кг ґрунту). Відповідно до нормативного документа «Методика суцільного ґрунтового-агрохімічного моніторингу сільськогосподарських угідь України» забруднення цинком було відсутнє, але відмічено слабкий рівень забруднення ґрунту кадмієм і помірний – свинцем [16].

Спосіб сівби – рядковий, норма висіву складала 5,0 млн/га. Добрива вносили весною під передпосівну культивуацію з розрахунку 180 кг/га NPK у співвідношенні 1:1:1.

Аналіз ґрунту та рослинницької продукції проводили згідно з атестованими методиками по використанню методів атомної абсорбції, інфрачервоної спектроскопії, фотометрії та титриметрії [17]. Структурний аналіз і посівні якості визначали за М.К. Майсуряном [18]. Математико-статистичний аналіз даних виконували за Б.О. Доспеховим [19] з використанням комп'ютерних програм Microsoft Office Excel 2003, Statistica 5.0.

Результати досліджень. Оцінюючи екотоксикологічний стан ґрунту на якому проводили дослідження, слід зважити на ту обставину, що цинк, свинець, кадмій одні з найбільш небезпечних поліутантів і входять до першого класу токсичності.

Результати аналізу рослинних проб вівса зернового використання сорту Нептун та вівса голозерного сорту Соломон цінного призначення відібраних у фазах: кущення, виходу в трубку, колосіння, за В.В. Церлінг [20], показали гострий дефіцит (низький та дуже низький рівень) мікроелементів, а саме заліза, міді, марганцю. Це підтверджує існування явищ синергізму і антагонізму елементів на забруднених фонах з аномальним насиченням ВМ, яке призводить не тільки до зниження врожаю, але й погіршення його якості.

При зборі урожаю для обох сортів виявлено схожу закономірність – незначну тенденцію до зниження урожаю зерна за 5-кратного перевищення природного фону ВМ, порівняно з контролем, а також значне зниження кількості зерна вівса півчастого та різке – вівса голозерного за 100-кратного перевищення (табл. 1). Разом із тим, у варіанті з десятиразовим перевищенням природного фону ВМ кількість зерна на 1 м² була вищою, ніж на ділянках із природним фоном ВМ та його п'ятиразовим перевищенням, але не на істотну величину. При цьому співвідношення зерно/солома лишалось сталим. Слід відмітити, що маса насіння вівса півчастого на екотопі з природним фоном, а також забруднених екотопах, перевищувала масу зерна вівса голозерного у 2,9–10,7 рази. Хоча, за даними науковців [21], урожайність голозерних сортів повинна бути вищою порівняно з півчастими на 16 %.

Найвищу урожайність зерна й соломи вівса півчастого та голозерного було отримано за вирощування на ділянках із природним фоном ВМ (вар. 1), відповідно 377,9 і 850,3 г/м² та 129,5 і 278,4 г/м². У даному випадку визначальною у формуванні урожаю була індивідуальна продуктивність: середня висота (60,7 і 68,1 см), у той час як за 100 разового перевищення природного фону ВМ цей показник відпо-

відно становив 40,7 і 41,5 см. Відмінність указанного варіанта від решти підтверджується результатами статистичного аналізу, у ході якого визначено, що різниця в урожайності зерна вівса півчастого становила 143,0–167,8 г/м², соломи – 329,5–535,2 г/м², а для зерна вівса голозерного – 95,8–109,8 г/м², соломи – 191,8–250,9 г/м² при значеннях НІР₀₅ для зерна і соломи вівса півчастого – 51,5 і 141,0 г/м², а для зерна вівса голозерного – 33,0 і 71,2 г/м² відповідно.

Поряд із кількісними показниками врожайності досліджували стан якісних характеристик зерна вівса півчастого і голозерного. За свідченнями вчених, у стресових ситуаціях, пов'язаних із забрудненням ґрунту ВМ, рослини, намагаючись знешкодити токсичний вплив екотоксикантів, синтезують більше білкових речовин, що зв'язують ці елементи, таким чином, запобігаючи їх активному впливу на весь процес росту та розвитку рослин [22]. Проведений нами аналіз біохімічних характеристик соломи та коренів рослин вівса півчастого сорту Нептун і вівса голозерного сорту Соломон, вирощених на ґрунтових фонах з різним умістом ВМ, певним чином підтвердив ймовірність таких процесів у рослинному організмі. Одержані дані свідчать, що зі зростанням забрудненості ґрунту спостерігалась чітка закономірність збільшення вмісту протеїну у кореневій масі. Найвищий уміст протеїну відмічено у коренях вівса сорту Соломон (8,05 %) і соломі (8,73 %) та коренях сорту Нептун (8,23 %) і соломі (8,44 %) рослин, вирощених за 100 фонів ВМ, у той час як у контролі він становив відповідно 7,25, 7,73 % (сорт Соломон) та 7,04, 7,37 % (сорт Нептун). За 5-ти та 10-разового перевищення природного фону ВМ спостерігалось підвищення умісту білкових сполук лише в соломі. Слід відмітити, що вміст протеїну в зерні сортів вівса у варіантах із природним фоном, 5 та 10 фонів ВМ був близьким і становив для вівса

Таблиця 1.

Продуктивність вівса залежно від забрудненості ґрунту важкими металами

Варіант	Маса, г/м ²				Зерно / солома		Висота, см	
	І*		ІІ**		І	ІІ	І	ІІ
	зерно	солома	зерно	солома				
1- природний фон (контроль)	377,9	850,3	129,5	278,4	1:2,2	1:2,1	60,7	68,1
4 – 5 разове перевищення вмісту ВМ	355,5	711,0	123,9	247,9	1:2,0	1:2,0	50,1	57,8
2 – 10 разове перевищення вмісту ВМ	383,1	644,5	115,4	219,4	1:1,8	1:1,9	54,2	55,2
3 – 100 разове перевищення вмісту ВМ	210,0	315,0	19,6	27,5	1:1,5	1:1,4	40,7	41,5
<i>V</i> ,%	24,0	34,0	51,7	56,0	–	–	12,9	7,3
<i>НІР</i> ₀₅	51,5	141,0	33,0	71,2	–	–	23,3	15,6

Примітка. І* – овес півчастий (сорт Нептун), ІІ** – овес голозерний (сорт Соломон)

плівчастого від 8,91 до 8,93 %, для вівса голозерного відповідно – 8,98–9,89 %, а за сторазового перевищення природного фону дещо зріс до 10,01 % у вівса плівчастого і 10,65 % – вівса голозерного.

За вирощування сільськогосподарських культур на забруднених ВМ територіях важливим є не лише кількість і якість одержаної продукції, а і її токсикологічні характеристики. Встановлено, що залежно від фону забрудненості ґрунту до рослинних організмів надходить різна кількість токсичних елементів, формується різний рівень урожайності, і саме ці фактори визначають величину відчужених ВМ з агроєкоотопу. Дослідження свідчать, що зі збільшенням кількості цинку, свинцю, кадмію у ґрунті супроводжувалось зростанням концентрації цих металів у зерні, соломі та коренях різних сортів вівса (табл. 2). Згідно із вимогами ДСТУ 4963:2008 [23] до зерна вівса, призначеного для використання на продовольчі потреби, відмічено перевищення ГДК даних екоотоксикантів на ділянках із 100 разовим пе-

ревищенням вмісту ВМ як у зерні вівса плівчастого, так і зерні вівса голонасінного, а для кормових цілей концентрація свинцю не перевищувала ГДК для обох сортів. Хоча за результатами обстеження зерна вівса на забруднених ґрунтових фонах із п'яти- і десятиразовим перевищенням не виявили перевищення ГДК цинку (для продовольчих потреб), а коефіцієнти забруднення свинцем не є критичними, як це спостерігали у випадку кадмію. Якщо характеризувати норми для вівса, що його використовують на кормові потреби, то на вищевказаних забруднених фонах у зерні досліджуваних сортів спостерігали перевищення ГДК кадмію. Слід також відмітити, що овес голозерний за своїми біологічними особливостями накопичував або містив дещо більшу кількість екоотоксикантів, порівняно з вівсом плівчастим.

Існують суттєві відмінності в накопиченні ВМ вегетативними та генеративними органами сільськогосподарських культур, які спричинені їх фізіологічними особливостями, зокрема, будовою кореневої системи.

Таблиця 2.

Уміст цинку, свинцю, кадмію у вегетативних органах і зерні вівса залежно від забрудненості ґрунту ВМ, мг/кг сухої речовини

Варіант забруднення	Овес плівчастий			Овес голозерний		
	цинк	свинець	кадмій	цинк	свинець	кадмій
зерно						
1– природний фон	22,4	1,0	0,2	27,6	1,1	0,2
4 – 5 разове перевищення вмісту ВМ	32,3	1,0	0,7	34,9	1,1	0,6
2 – 10 разове перевищення вмісту ВМ	32,9	1,0	0,8	37,5	1,0	0,9
3 – 100 разове перевищення вмісту ВМ	67,8	1,8	3,6	82,2	2,5	5,4
<i>V, %</i>	10,3	35,3	40,3	7,5	37,8	32,5
ГДК (продовольчі потреби)	50,0	0,5	0,1	50,0	0,5	0,1
ГДК (кормові потреби)	50,0	5,0	0,3	50,0	5,0	0,3
солома						
1– природний фон	13,4	1,4	0,2	10,9	2,0	0,3
4 – 5 разове перевищення вмісту ВМ	17,7	1,6	0,8	29,3	2,4	0,7
2 – 10 разове перевищення вмісту ВМ	24,7	1,6	0,9	32,2	3,3	0,7
3 – 100 разове перевищення вмісту ВМ	229,7	11,2	5,1	338,8	14,8	8,8
<i>V, %</i>	37,3	22,4	36,3	32,3	15,8	28,0
корені						
1– природний фон	18,3	2,5	0,4	19,6	2,8	0,4
4 – 5 разове перевищення вмісту ВМ	61,9	6,2	1,1	54,9	6,8	1,1
2 – 10 разове перевищення вмісту ВМ	97,0	7,5	1,3	108,2	9,3	1,7
3 – 100 разове перевищення вмісту ВМ	569,1	89,0	21,2	705,0	81,8	34,6
<i>V, %</i>	52,4	20,6	57,5	55,1	31,9	42,8

У науковій літературі зазначається, що корінь вибірково поглинає зольні елементи з живильного середовища, перешкоджаючи їх надходженню до надземної частини [24, 25, 26]. Крім того, відомо, що кількість коренів зернових культур в орному шарі складає близько 2,0–4,0 т/га (сухої речовини). При цьому довжина коріння у вівса складає близько 140 м на 1 дм³ ґрунту в шарі 0–50 см, що свідчить про високу блокуючу здатність кореневої системи [27, 28].

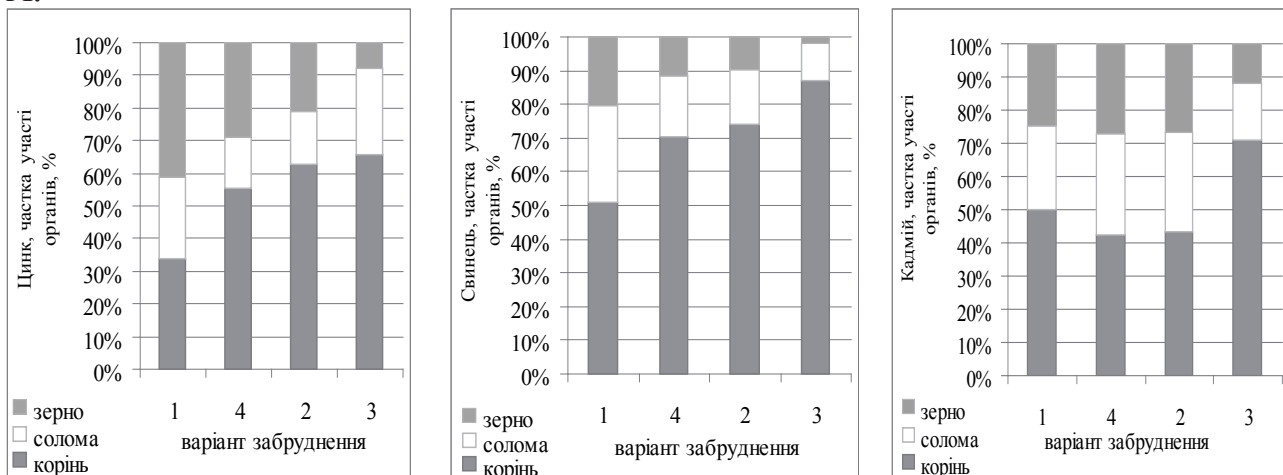
На думку вчених [29, 30], фізіологічні бар'єрні функції у рослині забезпечують наступний характер розподілення ВМ: корінь>надземна частина>генеративні органи.

Дослідження рослин сортів вівса показало, що найбільший уміст цинку, свинцю, кадмію був у коренях. Солома мала меншу концентрацію перелічених політантів, порівняно з коренями (рис. 1). На забруднених агрофонах у рослин вівса саме коренева система була тим біохімічним бар'єром, що стримував надходження надлишкових кількостей елементів до надземних вегетативних органів і зерна. Виключенням із загального правила був цинк на варіанті з природним фоном. Його кількість у зерні перевищувала не лише концентрацію у коренях та

соломі, а й була майже в п'ять разів більшою, ніж концентрація кислоторозчинної форми екотоксиканта в ґрунті, що свідчить про його необхідність для культури при формуванні генеративних органів.

Певна кількість ВМ, які потрапляють до ґрунту, завдяки його буферній здатності інактивується, але значна частина залишається мобільною, активно засвоюється рослинами та виноситься з ґрунту врожаєм основної і побічної продукції сільськогосподарських культур [11]. При цьому темпи накопичення металів у різних частинах рослинного організму підлягали певній закономірності, а саме: із зростанням забрудненості ґрунту найбільша частка цинку, свинцю, кадмію концентрувалась вегетативними органами (коренями та соломою), тому врожай соломи та вміст в ньому ВМ є визначальним у відчуженні цих елементів з екотопу (рис. 2). Розрахунок виносу свинцю, кадмію та цинку рослинами вівса півчастого і вівса голозерного показав, що найбільше відчуження ВМ відмічено на екотопах із 100-разовим перевищенням де характерна найвища концентрація екотоксикантів у зерні й соломі. Тоді, як на ділянках із 5- і 10-разовим перевищенням природного фону ВМ, відповідно, дещо нижче, оскільки саме тут одержано найбільшу біомасу.

А.



Б.

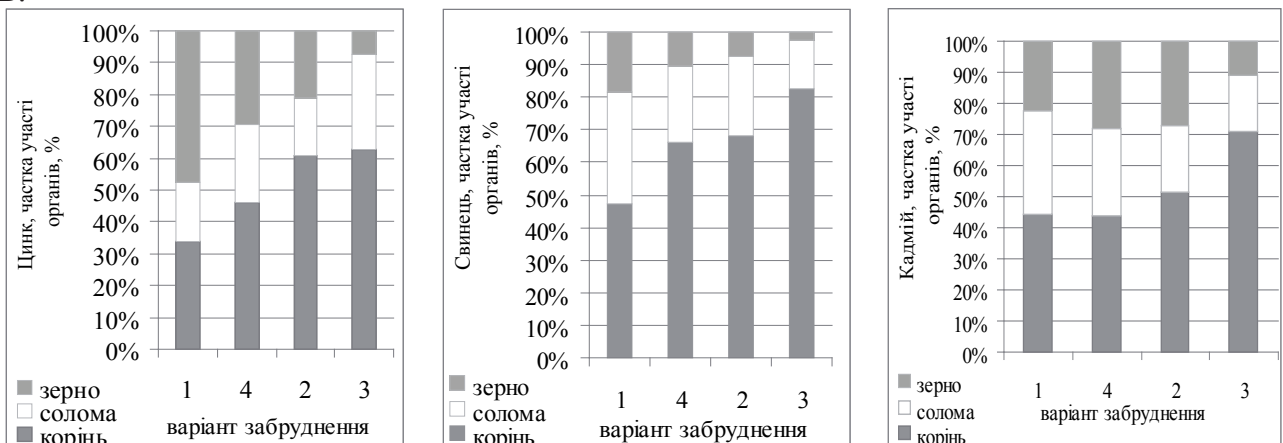


Рис. 1

Частка зерна, соломи і коренів у накопиченні ВМ фітоценозами вівса півчастого (А) і вівса голозерного (Б): 1 – природний фон свинцю, цинку, кадмію; 4 – п'ятиразове перевищення; 2 – десятиразове перевищення; 3 – сторазове перевищення природного фону.

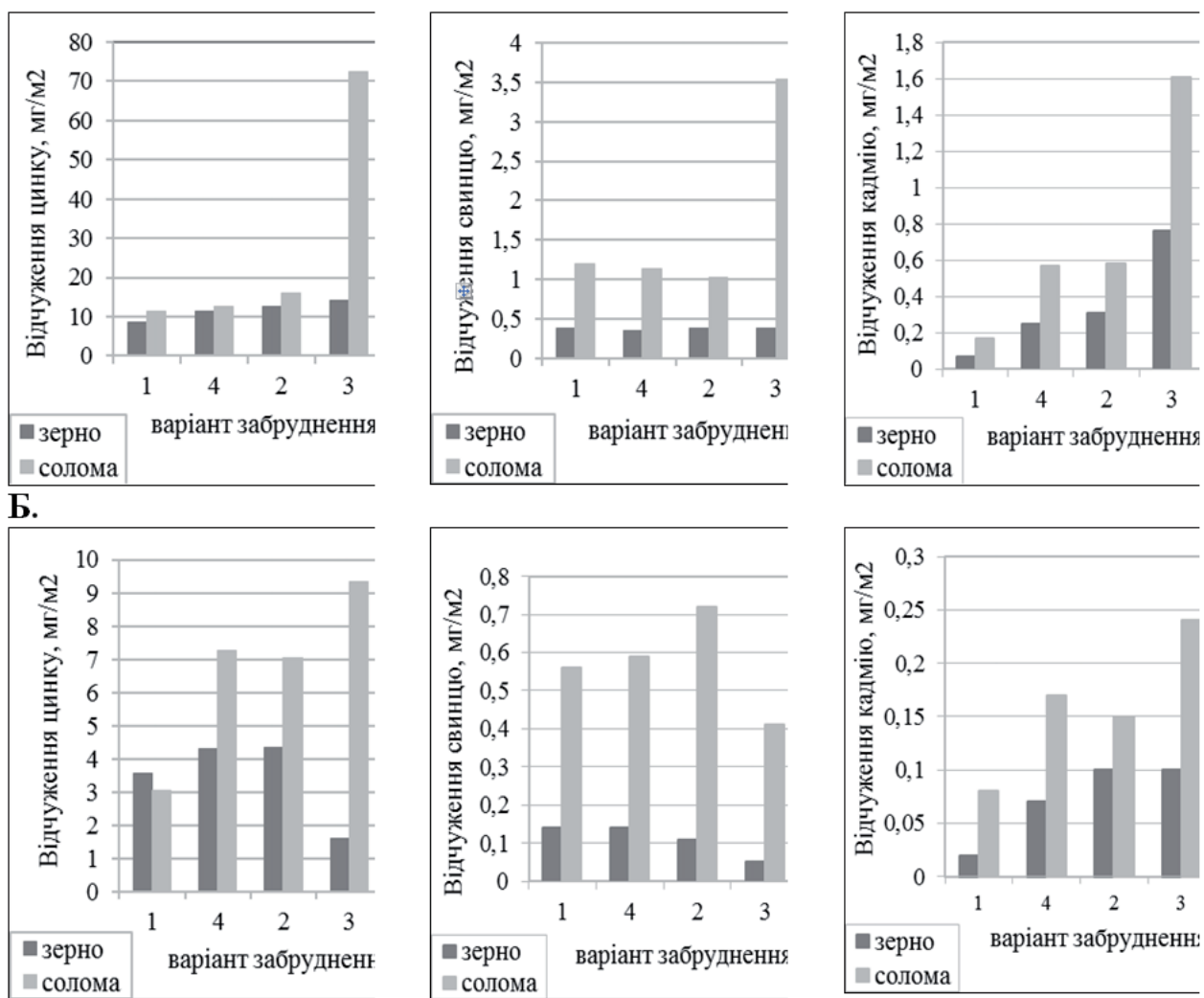


Рис. 2.

Відчуження цинку, свинцю, кадмію з основною та побічною продукцією вівса півчастого (А) і вівса голозерного (Б), вирощеного за різного рівня забрудненості ґрунту ВМ: 1 – природний фон свинцю, цинку, кадмію; 4 – п'ятиразове перевищення; 2 – десятиразове перевищення; 3 – стотворазове перевищення природного фону.

Враховуючи зазначене, вирощування вівса різних сортів на забруднених ґрунтах може сприйматись як один з шляхів їх фітореMediaції.

Висновки. У результаті проведених досліджень встановлено, що в умовах Правобережного Лісостепу на сірому лісовому ґрунті з вмістом кислоторозчинних форм свинцю до 1000, кадмію – 20,0, цинку до 500 мг на кг ґрунту є можливим проведення фітореMediaції з використанням посівів вівса півчастого сорту Нептун та вівса голозерного сорту Соломон, які виявили високу толерантність до забруднення ґрунту ВМ. Найбільше відчуження ВМ з надземною біомасою (зерно, солома) вівса півчастого і голозерного відмічено на ділянках із 100-разовим перевищенням природного фону ВМ.

У зв'язку з різким погіршенням токсикологічних характеристик зерна вівса досліджуваних сортів, вирощених в умовах забруднення екотопів ВМ, унеможливується його використання для продоволь-

чих та кормових потреб. Шляхи утилізації біомаси вівса, отриманого на забруднених фонах, потребують додаткового дослідження.

Література.

1. Балюк С.А. Концепція екологічного ризику деградації ґрунтового покриву України / С.А. Балюк // Вісник аграрної науки. – 2011. – № 6. – С. 5–11.
2. Macnair M.R. The hyperaccumulation of metals by plants / M.R. Macnair // *Advances in Botanical Research*. – 2003. – 40. – P. 63–105.
3. Біланич М.М. Сучасний стан дослідження впливу важких металів на рослинний світ / М.М. Біланич. // Вісник Прикарпатського національного університету ім. Василя Стефаника: серія біологія. – 2008. – Вип. XII. – С. 161–174.
4. Kumar N. Phytoremediation: the use of plants to remove heavy metals from soils / N. Kumar, H. Motto, I. Raskinet // *Envitor. Sci. Tehnol.* – 1995. – № 29. – P. 1232–1238.
5. Прасад М.Н. Практическое использование растений для восстановления экосистем, загрязненных металлами / М.Н. Прасад // *Физиология растений*. – 2003. – Т. 50. – С. 764–780.
6. Anil K.G. Bioremediation: Ecotechnology for the Present Century / K.G. Anil, Y. Mohammad, K.P. Pramod // *International Society of Environmental Botanists*. – 2003. – V. 9. – № 2. – P. 248.
7. Baker A.J.M. Metal hyperaccumulator plants: a review of the ecology and physiology of a biochemical resource for phytoremediation of metal-polluted soils / A.J.M. Baker, S.P. McGrath, R.D. Reeves, J.A.C. Smith // *Phytoremediation of contaminated soil and water*. – Lewis Publishers. – 2000. – P. 85–107.
8. Андриевская Л.П. Подбор и агроэкологическая оценка сельскохозяйственных культур на способность снижать содержание тяжелых металлов в почве / Л.П. Андриевская // *Поволжский экологический вестник. Волгоград*. – 1998. – Вып. 5. – С. 192–194.
9. Peralta-Videa J.P. Potential of alfalfa plant to phytoremediate individually contaminated montmorillonite-soil with cadmium (II), chromium (VI), copper(II), nickel (II) and zinc (II) / J.P. Peralta-Videa, J.L. Gardea-Torresday, E. Gomez // *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* – 2002. – V. 69. – P. 74–81.
10. Henry J.R. In An Overview of Phytoremediation of Lead and Mercury / J.R. Henry // *NNEMS Report. D.C. Washington*. – 2000. – P. 3–9.
11. Кравець О.П. Сучасний стан та проблеми фітоочищення ґрунтів від радіонуклідів і важких металів / О.П. Кравець // *Физиология и биохимия культурных растений*. – 2002. – Т.34. – №5. – С. 377–386.
12. Сискевич Ю.И. Использование рапса ярового в качестве фитомелиоранта / Ю.И. Сискевич, Г.Н. Никонова // *АГРО XXI*. – 2008. – № 4. – С. 67–69.
13. Корсун С.Г. Застосування посівів ріпаку ярого для фітореMediaції ґрунтів / С.Г. Корсун, Г.В. Давидюк, Н.Г. Буслаєва, І.І. Клименко // *Збірник наукових праць Уманського національного університету садівництва* / [редкол. А.Ф. Головчук (відп. ред.) та ін.]. – Умань, 2010. – Вип. 74. – Ч.1: Агронімія. – С. 83–90.
14. Корсун С.Г. Спосіб фітореMediaції сільськогосподарських земель, забруднених важкими металами / С.Г. Корсун, Г.В. Давидюк, І.І. Клименко, Н.І. Довбаши, Т.М. Хмара // *Міжвідомчий тематичний науковий збірник «Землеробство»*. – К.: ВП «Едельвейс», 2014. – Вип. 1–2. – С. 51–53.
15. Tlustos P. The uptake of cadmium, zinc, arsenic and lead by chosen crops / P. Tlustos, J. Balik, D. Pavlikova // *Rotilina Vyroba*. – 1997. – V. 43. – P. 487–494.
16. Методика суцільного ґрунтового-агрохімічного моніторингу сільськогосподарських угідь України / [за ред. О.О. Созінова, Б.С. Прістера]. – К., 1994. – С. 52–54.
17. Методи аналізів ґрунтів і рослин (методичний посібник) / [за ред. С.Ю. Булигіна, С.А. Балюка, А.Д. Міхновської, Р.А. Розумної]. – Книга 1. – Харків: ННЦ ІГА, 1999. – 157 с.
18. Майсурян Н.А. Практикум по растениеводству / Н.А. Майсурян. – М.: Колос, 1970. – 445 с.
19. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследования) / Б.А. Доспехов. – 5-е изд., доп. и перераб. – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.
20. Церлинг В.В. Агрохимические основы диагностики минерального питания сельскохозяйственных культур / В.В. Церлинг. – М.: Наука, 1978. – 215 с.
21. Рослинництво. Технології вирощування сільськогосподарських культур: [навчальний посібник] / В. В. Лихочвор, В. Ф. Петриченко, П. В. Іващук, О. В. Корнійчук // [за ред. В. В. Лихочвора, В. Ф. Петриченка]. – 3-є вид., виправ., допов. – Львів: НВФ «Українські технології», 2010. – 1088 с.
22. Бабкин В.В. Физиолого-биохимические аспекты действия тяжелых металлов в сельском хозяйстве / В.В. Бабкин // *Физиология и биохимия культурных растений*. – 1995. – №5. – С. 17–21.
23. Овес. Технічні умови: ДСТУ 4963:2008. – К.: Держспоживстандарт України, 2010. – 10 с. – (Національний стандарт України).
24. Зубкова В.М. Роль корней при поступлении тяжелых металлов в растения в условиях повышенной концентрации в почве / В.М. Зубкова, В.А. Демин // *Доклады РАСХН*. – 2004. – № 1. – С. 23–26.
25. Гуральчук Ж.З. Механизмы устойчивости растений к тяжелым металлам / Ж.З. Гуральчук // *Физиология и биохимия культурных растений*. – 1994. – Т.26. – № 2. – С. 107–117.
26. Keller C. Root development and heavy metal phytoextraction efficiency: comparison of different plant species in the field / C. Keller, D. Hammer, A. Kayser, W. Richner, M. Brodbeck, M. Sennhauser // *Plant and Soil*. – 2003. – № 249. – P. 6781.
27. Ивашикина Н. В. Блокирование калиевых каналов клеток корня тяжелыми металлами и стронцием / Н. В. Ивашикина, О. А. Соколов // *Агрохимия*. – 2006. – № 12. – С. 47–53.
28. Серегин И. В. Является ли барьерная функция эндодермы единственной причиной устойчивости ветвления корней к солям тяжелых металлов / И. В. Серегин, В. Б. Иванов // *Физиология растений*. – 1997. – № 6. – С. 922–925.
29. Гомонова Н. Ф. Источники поступления тяжелых металлов и их трансформация в системе почва-растение в зависимости от особенностей агрофона / Н. Ф. Гомонова, М. Ф. Овчинникова, Г. М. Зенова // *Соврем. проблемы загрязн. почв: Сборник тезисов*. – Москва: Изд-во Моск. ун-та, 2004. – С. 199–201.

30. Минеев В. Г. Влияние последствия системы удобрения на барьерные функции растений ячменя на дерново-подзолистой почве, загрязненной свинцом и кадмием / В. Г. Минеев, Л. А. Лебедева, А. В. Арзамасова // *Агрехимия*. – 2009. – № 9. – С. 60–68.

References

1. Baliuk, S. A. (2011). *Kontseptsiia ekolohichnoho ryzyku dehradatsii hruntovoho pokryvu Ukrainy*. *Visnyk ahrarnoi nauky*, 6, 5–11.
2. Macnair, M. R. (2003). *The hyperaccumulation of metals by plants*. *Advances in Botanical Research*, 40, 63–105.
3. Bilanych, M. M. (2008). *Suchasnyi stan doslidzhennia vplyvu vazhkykh metaliv na roslynni svit*. *Visnyk prykarpatskoho natsionalnoho universytetu im. Vasyliya Stefanyka: seriia biolohiia*, XII, 161–174.
4. Kumar, N., Motto, H. & Raskinet, I. (1995). *Phytoremediation: tse use of plants to remove heavy metals from soils*. *Envitor. Sci. Tehnol.*, 29, 1232–1238.
5. Prasad, M. N. (2003). *Prakticheskoe ispolzovanie rastenij dlja vosstanovlenija ekosistem, zahrjaznennykh metallami*. *Fiziolohija rastenij*, 50, 764–780.
6. Anil, K. G., Mohammad, Y. & Pramod, K. P. (2003). *Bioremediation: Ecotechnology for the Present Century*. *International Society of Environmental Botanists*, 2, 248.
7. Baker, A. J. M., McGrath, S. P., Reeves, R. D. & Smith, J. A. C. (2000). *Metal hyperaccumulator plants: a review of the ecology and physiology of a biochemical resource for phytoremediation of metal-polluted soils*. *Phytoremediation of contaminated soil and water*; Lewis Publishers, 85–107.
8. Andriievskaja, L. P. (1998). *Podbor i ahrojekolohicheskaja otsenka sel'skokhozjajstvennykh kul'tur na sposobnost' snizhat' sodержание tjazhelykh metallov v pochve*. *Povolzhskij jekolohicheskij vestnik*. Volhohrad, 192–194.
9. Peralta-Videa, J. P., Gardea-Torresday, J. L. & Gomez, E. (2002). *Potential of alfalfa plant to phytoremediate individually contaminated montmorillonite-soil with cadmium (II), chromium (VI), copper(II), nickel (II) and zinc (II)*. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, 69, 74–81.
10. Henry, J. R. (2000). *In An Overview of Phytoremediation of Lead and Mercury*. NNEMS Report. D.C. Washington, 3–9.
11. Kravets', O. P. (2002). *Suchasnyi stan ta problemy fitoohyshchennia hruntiv vid radionuklidiv i vazhkykh metaliv*. *Fiziolohija i biokhimija kul'turnykh rastenij*, 34, 5, 377–386.
12. Siskevich, Yu. I. & Nikonova, H. N. (2008). *Ispolzovanie rapsa jarovoho v kachestve fitomelioranta*. *AHRO XXI*, 4, 67–69.
13. Korsun, S. H., Davydiuk, H. V., Buslaieva, N. H. & Klymenko, I. I. (2010). *Zastosuvannia posiviv ripaku yaroho dlja fitoremediatsii gruntiv*. *Zbirnyk naukovykh prats Umanskoho natsionalnoho universytetu sadivnytstva*. Uman', 74, 1, 83–90.
14. Korsun, S. H., Davydiuk, H. V., Klymenko, I. I., Dovbash, N. I. & Khmara, T. M. (2014). *Sposib fitoremediatsii silskohospodarskykh zemel, zabrudnennykh vazhkymy metalamy*. *Mizhvidomchyi tematychni naukovyi zbirnyk «Zemlerobstvo»*. Kyiv, 1–2, 51–53.
15. Tlustos, P., Balik, J. & Pavlikova, D. (1997). *The uptake of cadmium, zinc, arsenic and lead by chosen crops*. *Rotilina Vyroba*, 43, 487–494.
16. Sozinov, O. O. & Prister, B. S. (1994). *Metodyka sutsil'noho gruntovoho-ahrokhimichnoho monitorynhu sil'skohospodars'kykh uhid' Ukrainy*. Kyiv.
17. Bulyhin, S. Yu., Baliuk, S. A., Mikhnovs'ka, A. D. & Rozumna, R. A. (1999). *Metody analiziv gruntiv i roslyn*. Kharkiv : NNTs IHA.
18. Majisurjan, N. A. (1970). *Praktikum po rastenievodstvu*. Moskva : Kolos.
19. Dospekhov, B. A. (1985). *Metodika polevoho opyta (s osnovami statisticheskoy obrabotki rezul'tatov issledovanij)*. Moskva : Ahropromizdat.
20. Tserlinh, V. V. (1978). *Ahrokhimicheskie osnovy diahnostiki mineral'noho pitaniija sel'skokhoziaistvennykh kul'tur*. Moskva : Nauka.
21. Lykhochvor, V. V., Petrychenko, V. F., Ivashchuk, P. V. & Korniihuk, O. V. (2010). *Roslynnystvo. Tekhnolohii vyroshchuvannia sil's'kohospodars'kykh kul'tur: [navchal'nyi posibnyk]*. Lviv : NVF "Ukrainski tekhnolohii".
22. Babkin, V. V. (1995). *Fizioloho-biokhimicheskie aspekty dejstvija tjazhelykh metallov v sel'skom khozjaistve*. *Fiziolohija i biokhimija kul'turnykh rastenij*, 5, 17–21.
23. Oves. *Tekhnichni umovy*. (2010). DSTU 4963:2008. *Natsionalnyi standart Ukrainy*. Kyiv: Derzhspozhyvstandart Ukrainy.
24. Zubkova, V. M. & Demin, V. A. (2004). *Rol' kornej pri postuplenii tjazhelykh metallov v rastenija v uslovijakh povyshennoi kontsentratsii v pochve*. *Doklady RASKhN*, 1, 23–26.
25. Hural'chuk, Zh. Z. (1994). *Mekhanizmy ustojchivosti rastenij k tjazhelym metallam*. *Fiziolohija i biokhimija kul'turnykh rastenij*, 2, 107–117.

26. Keller, C., Hammer, D., Kayser, A., Richner, W., Brodbeck, M. & Sennhauser, M. (2003). Root development and heavy metal phytoextraction efficiency: comparison of different plant species in the field. *Plant and Soil*, 249, 6781.
27. Ivashikina, N. V. & Sokolov, O. A. (2006). Blokirovaniye kaliyevykh kanalov kletok kornya tjazhelymi metallami i strontsiem. *Ahrokhimija*, 12, 47–53.
28. Serehin, Y. V. & Ivanov, V. B. (1997). Javljaetsja li bar`ernaja funktsija jendodermny edynstvennoj prichinoj ustojchivosti vetvlenija kornej k soljam tjazhelykh metallov. *Fiziologija rastenij*, 6, 922–925.
29. Homonova, N. F., Ovchinnikova, M. F. & Zenova, H. M. (2004). Istochniki postuplenija tjazhelykh metallov i ikh transformatsija v sisteme pochva-rastenie v zavisimosti ot osobennostej ahrofona. *Sovrem. problemy zahrjazn. pochv: Sbornik tezisov. Moskva : Izd-vo Mosk. un-ta*, 199–201.
30. Myneev, V. H., Lebedeva, L. A. & Arzamazova, A. V. (2009). Vlijanie posledstvija sistemy udobrenija na bar`ernye funktsii rastenij jachmenja na dernovo-podzolistoj pochve, zahrjaznennoj svintsom i kadmiem. *Ahrokhimija*, 9, 60–68.

Клименко И.И.

Продуктивность агроценоза овса в условиях загрязнения тяжелыми металлами серой лесной почвы

Цель. Установить возможность использования посевов овса пленчатого и голозерного для фиторемедиации почв, загрязненных цинком, свинцом, кадмием в условиях Правобережной Лесостепи. Методы. Полевой, лабораторный, математико-статистический. Результаты. Проведенные исследования показывают, что выращивание различных сортов овса на искусственно загрязненных экотопах тяжелыми металлами серой лесной почвы, привело к изменениям их количественных, качественных, токсикологических характеристик урожая, а также определение возможности использования зерна. Выводы. Установлено, что в условиях Правобережной Лесостепи на территории с содержанием в серой лесной почве свинца до 1000 мг, цинка до 500 и кадмия до 20 мг/кг посевоы овса пленчатого (сорт Нептун) и овса голозерного (сорт Соломон) обнаружили высокую толерантность к загрязнению, поэтому возможно проведение фиторемедиации с их использованием, однако резкое ухудшение токсикологических характеристик зерна этих культур делает невозможным его применение в продовольственных и кормовых целях.

Ключевые слова: тяжёлые металлы, фиторемедиация, загрязнение почвы, овес пленчатый и голозерный, продуктивность, физиологическая эффективность, корневые барьеры.

Klymenko I. I.

Productivity of agrocenoses of oat in conditions pollution of heavy metals of gray forest soil

Object. To set possibility of the use of sowing of oats the shelled and naked for phytoremediation of soils contaminated with zinc, lead and cadmium in condition of right-bank Forest-Steppe. Methods. Field trials, laboratory testing, mathematical-statistical methods. Results. Conducted experiments affirm that the cultivation of different varieties of oats artificially contaminated with heavy metals ecotopes gray forest soils has led to changes in their quantitative, qualitative, toxicological characteristics of harvest, and also determination of the possibility of using grain. Conclusions. It is established that in condition of right-bank Forest-Steppe on territory with content in the grey forest soil of lead up to 1,000 mg, zinc up to 500 and cadmium up to 20 mg per kg sowings of oats shelled (variety Neptune) and oats naked (variety Solomon) show high tolerance to pollution, so it is possible to conduct a phytoremediation with their use, however the change for the worse of toxicological grain characteristics of these crops makes impossible its use in food and feed purposes.

Key words: heavy metals, phytoremediation, contamination of soil, shelled and naked oats, productivity, physiological efficiency, root barriers.

Рецензенты

Балаев А.Д. – д.с.-г.н.

Корсун С.Г. – д.с.-г.н.

Стаття надійшла до редакції – 16.06.2016 р