

УДК 631.95 : 633.11

ВПЛИВ БУФЕРНОЇ ЗДАТНОСТІ ҐРУНТІВ НА БІОАКУМУЛЯЦІЮ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ ПШЕНИЦЕЮ ОЗИМОЮ У ЗОНІ ВПЛИВУ ТЕС

Л.І. Коноваленко

кандидат хімічних наук

Донецька державна сільськогосподарська дослідна станція НААН
(Україна, Донецька область, м. Покровськ; e-mail: snzdiarw@ukr.net)

О.Б. Бондарева

кандидат технічних наук, старший науковий співробітник

Донецька державна сільськогосподарська дослідна станція НААН
(Україна, Донецька область, м. Покровськ; e-mail: olbraun58dds@ukr.net)

О.О. Вінюков

кандидат сільськогосподарських наук

старший науковий співробітник

Донецька державна сільськогосподарська дослідна станція НААН
(Україна, Донецька область, м. Покровськ; e-mail: alex.agronomist@gmail.com)

Вивчено вплив буферної здатності чорнозему звичайного на біоаккумуляцію важких металів пшеницею озимою у зоні техногенного впливу ТЕС. Досліджено рухомість важких металів залежно від вмісту гумусу в орному шарі ґрунту та їх накопичення в рослинах пшениці озимої в умовах техногенного навантаження в південно-східному промисловому регіоні. Висвітлено вміст валових і рухомих форм міді (Cu), цинку (Zn), свинцю (Pb) і кадмію (Cd) у ґрунтах, що є найбільшими забруднювачами агроландшафтів Донецької обл. Уміст вказаних елементів визначали також у зерні і соломі пшениці озимої. Встановлено, що у ґрунтовому покриві Донецької обл. домінують чорноземи (74% від усієї площі сільськогосподарських угідь), які характеризуються значною буферністю до важких металів; для чорнозему звичайного в зоні техногенного впливу Курацівської ТЕС збільшення вмісту гумусу з 3,6 до 4,9% сприяє зменшенню концентрації рухомих Cu, Zn і Pb майже в 2 рази. За цих умов уміст рухомого кадмію істотно не змінювався. За показниками ступеня рухомості в ґрунті важкі метали за доступністю для рослин розташовуються в ряд: Cd > Cu > Zn > Pb, тобто буферні властивості чорнозему звичайного є різними для кожного з досліджених елементів. Найвищу біологічну рухливість має цинк. Уміст свинцю в ґрунті значно вищий порівняно з умістом кадмію, але коефіцієнт біологічного поглинання кадмію є майже вдвічі вищим. Біогенні елементи, як-от мідь і цинк більше накопичуються в регенеративних органах, а уміст свинцю і кадмію був вищим у соломі. Виявлено зменшення вмісту міді і цинку в зерні і соломі пшениці озимої за зростання вмісту гумусу, одночасно вміст свинцю в зерні знизився на 22%. Отримані результати надають змогу оцінити ризики забруднення зернової продукції важкими металами і прогнозувати можливість вирощування екологічно безпечної продукції в регіонах високого техногенного тиску.

Ключові слова: техногенне забруднення, буферність ґрунту, гумус, важкі метали, ступінь рухомості, пшениця озима, зерно, солома, коефіцієнт біологічного поглинання.

Постановка проблеми. Проблема вирощування екологічно безпечної сільськогосподарської рослинної продукції набула останнім часом значної актуальності внаслідок інтенсифікації процесів техногенезу. Екологічна небезпека рослинної продукції залежить від умісту надлишкових концентрацій полютантів, пріоритетну роль серед яких займають важкі метали (ВМ) — мідь, цинк, свинець, кадмій тощо [1]. Інтенсивний та довготривалий розвиток промисловості зумовив значне забруднення агроландшафтів, особливо в індустріальних регіонах ВМ. Це призвело до порушення екологічної рівноваги, що насамперед

впливає на ґрунт та рослини, оскільки вони є головними акумуляторами ВМ. За таких умов відбувається порушення процесів мінералізації, зниження біологічної активності і самоочищення ґрунтів та їх буферної здатності зв'язувати токсиканти [2–4; 7]. Все це спричиняє передумови до значного нагромадження рухомих форм ВМ у ґрунті, до їх накопичення рослинами та міграції трофічними ланцюгами живлення. Тому міграція у ґрунтах ВМ, що впливають на їх властивості, родючість, екологічну безпеку рослинної продукції є однією з актуальних агроекологічних проблем сьогодення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Проблемою забруднення ґрунтів ВМ займалися вітчизняні і зарубіжні вчені, серед яких В.В. Медведєв, А.І. Фатєєв, С.А. Балюк, М.М. Мірошніченко, Н.А. Макаренко, І.П. Кабата-Пендіас, М.А. Глазовська, В.Б. Ільїн та ін. Встановлено, що ступінь токсичності ґрунтів, забруднених ВМ, визначається не стільки валовим умістом, скільки рухомими формами, які беруть участь в біогенній міграції [2–8]. Значну увагу фахівцями приділено розробці оцінки ступеня забруднення, його нормуванню, запропоновано різні підходи до градації ґрунтів за рівнями вмісту ВМ для виділення територій з підвищеними екологічними ризиками [2; 3; 9–12]. Проблемі надходження важких металів у ґрунт і рослини присвячена значна кількість наукових досліджень [4; 14; 15]. Висока біопродуктивність ґрунту та реалізація сільськогосподарськими культурами генетичного потенціалу залежить не лише від вмісту і складу органічної речовини та основних елементів живлення, а й від рівня фітотоксичності ґрунту, що проявляється в рухомості ВМ. Одним із чинників, що впливає на ці процеси, є буферність ґрунтів. Природа буферності ґрунтів до ВМ обумовлюється певним характером їх взаємодії з ґрунтовими компонентами. Висвітлено, що ВМ накопичуються в різних компонентах органічної речовини ґрунтів [13]. Гумусові кислоти, володіючи високою ємністю катіонного обміну і здатністю до утворювання хелатних сполук, активно зв'язують фактично всі ВМ.

Взаємодія ВМ із компонентами біосфери вивчається понад два десятиріччя, проте масштаби проблеми не зменшуються внаслідок тривалості їх дії і здатності до інтенсивного накопичення в агроландшафтах.

На основі статистичних моделей залежності вмісту рухомих форм хімічних елементів від властивостей ґрунтів доведено, що ВМ, які потрапляють у об'єкти довкілля внаслідок діяльності людини, переважно концентруються на глибині 0–10 см [16]. Це зумовлено зв'язуванням поліютантів у гумусовому горизонті. Утворення міцних комплексних сполук з ВМ є одним з найважливіших механізмів закріплення цих токсикантів техногенного походження, що визначає буферні властивості ґрунтів до забруднення ними і залежать від вмісту гумусових речовин [4; 11; 12].

У конкретних екологічних умовах кожному типу ґрунту з характерним йому рівнем біологічної активності і буферності відповідає тільки йому властива реакція на забруднення ВМ. Тому необхідно вивчення регіональних особливостей міграційної активності ВМ з урахуванням буферних властивостей ґрунтів.

Техногенне надходження ВМ у навколишнє природне середовище негативно впливає не тільки на ґрунти, але й на рослинність. Актуальність окресленого питання полягає ще й у тому, що рослинність є проміжною ланкою міграції ВМ між ґрунтом і організмом людини.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. Незважаючи на значний обсяг теоретичних і методологічних досліджень, низка питань щодо екологічної безпеки в аграрній сфері індустріальних регіонів з високим рівнем впливу техногенезу на агроландшафти досі залишаються мало опрацьованими. Недостатньо вивченими є питання процесів переходу ВМ із ґрунту в рослини, а також безпечності зерна, що вирощується в зоні впливу високого техногенного навантаження.

Метою дослідження є вивчення рухомості важких металів залежно від вмісту гумусу в орному шарі ґрунту та їх накопичення в рослинах пшениці озимої в умовах техногенного навантаження в південно-східному промисловому регіоні.

Матеріали та методи. Методичну основу дослідження складають методи: польовий, лабораторний, вимірювальний, розрахунково-порівняльний, аналізу і синтезу. Дослідження проводили з використанням атестованих та стандартизованих в Україні методи.

У ґрунті досліджували вміст валових і рухомих форм міді (Cu), цинку (Zn), свинцю (Pb) і кадмію (Cd), що є найбільшими забруднювачами агроландшафтів Донецької обл. Уміст цих елементів визначали також у зерні і соломі пшениці озимої.

Відбір зразків ґрунту проводили в шарі 0–20 см, відповідно до ДСТУ 4287:2004 «Якість ґрунту. Відбирання проб». Підготовку ґрунту для аналізу проводили за стандартними методиками. Проведено вивчення концентрації рухомих форм ВМ із застосуванням ацетатно-амонійної буферної витяжки з рН 4,8 і витяжки з 1 м НСІ. Такий підхід надає змогу прогнозувати міграцію ВМ у системі «ґрунт–рослина» [17]. Для визначення валового вмісту ВМ ґрунт розкладали із застосуванням суміші кислот НСІ + HNO₃ + HF з подальшим розчиненням залишку в розчині азотної кислоти.

Відбір рослинних зразків для проведення агрохімічних досліджень проводили згідно «Методичних вказівок по проведенню досліджень в довготривалих дослідках з добривами».

У рослинних зразках уміст ВМ визначали в їх зольних розчинах після спалювання методом сухої мінералізації. Визначення вмісту хімічних елементів (міді, цинку, свинцю і кадмію) у пробах ґрунтів, зерні і соломі пшениці озимої здійснювали з використанням аналітичного

методу атомно-абсорбційної спектрофотометрії на приладі КАС-120 [18; 19].

Агрохімічні властивості ґрунтів визначали за відповідними методиками: загальний вміст гумусу — за Тюрнім (ДСТУ 4289:2004 «Якість ґрунту. Методи визначання органічної речовини»), рН водної витяжки — потенціометрично, згідно ДСТУ ISO10390:2007.

Усі виміри проводили у трикратній повторності. Статистичну обробку результатів здійснювали за Б.А. Доспеховим [20].

Викладення основного матеріалу. Особливість індустріальних регіонів полягає в тому, що до антропогенних чинників впливу на показники буферності ґрунтів, крім агронавантажень (внесення добрив, використання засобів захисту рослин, зрошення тощо), додається також істотний чинник техногенезу. Значну кількість чинників, що впливають на міграцію ВМ у ґрунтах індустріальних регіонів, можна поділити на дві основні групи: екзогенні (якісні і кількісні характеристики джерел емісії промислових полютантів) і ендегенні (екологічні властивості ґрунту, що обумовлюють на рухомість ВМ і їх біодоступність рослинам).

Результати аналізу промислової діяльності на території Донецької обл. засвідчили про формування у регіоні потужної техносфери, що налічує промислові підприємства гірничодобувної, металургійної та хімічної промисловості, енергетики і машинобудування, а також родовища корисних копалин. Всі ці техногенні об'єкти розташовуються в безпосередній близькості до сільгоспугідь.

У ґрунтовому покриві Донецької обл. домінують чорноземи, що становлять близько 74% від усієї площі сільськогосподарських угідь області. Чорноземи, як відомо, характеризуються значною буферністю до ВМ. Поряд із тим для чорноземів, з огляду на високу ємність ґрунтового-геохімічних бар'єрів, характерним є посилення небезпеки нагромадження ВМ у

гумусовому шарі [4; 10; 11]. Верхні гумусові горизонти міцно фіксують ВМ. Небезпека полягає в тому, що хімічне забруднення тривалий час може не виявлятися внаслідок буферності ґрунту і одночасно бути потужним чинником руйнування біосфери загалом. Забруднення рослинної продукції ВМ багато в чому визначається спрямованістю процесів трансформації сполук цих елементів за надходження у ґрунт, наслідком чого є зміна ступеня доступності їх для кореневої системи рослин.

На прикладі чорнозему звичайного малогумусного легкосуглинкового на лесах у зоні техногенного впливу енергетичного виробництва (Курахівської ТЕС) було досліджено рухомість ВМ залежно від вмісту гумусу в орному шарі ґрунту та їх накопичення в зерні і соломі пшениці озимої. Для досліджень була вибрана пшениця озима, як основна зернова культура в зоні Степу. Дослідження проводили на полях ДП «ДГ «Забойщик» ДДСДС НААН» Великоновоселківського р-ну Донецької обл.

Експериментально встановлено (табл. 1), що вміст валових форм Cd і Cu, а також рухомих форм Cd, Pb, Zn, Cu в ґрунтах зони дії викидів ТЕС істотно не залежить від відстані до 30 км, і натомість значно залежить від напрямку пануючих вітрів, де і нагромаджуються ВМ.

Аерогенні емісії енергетичних виробництв, окрім ВМ, містять також значну кількість кислотних компонентів — оксиди азоту, сірки, які в атмосфері утворюють відповідні кислоти. Це впливає на фізико-хімічні властивості складових викидів, може зумовлювати перехід ВМ із оксидів у більш розчинні сполуки, наприклад нітрати і сульфати. За умов високого вмісту кислотних компонентів ВМ будуть розсіюватися у вигляді аерозолів на значні відстані від джерела забруднення.

Зразки ґрунту та основної і побічної рослинної продукції відбирали перед збиранням урожаю з двох полів, де попередньо було ви-

Таблиця 1

Уміст важких металів у ґрунті залежно від напрямку вітру і відстані від промислового об'єкта

Напрямок вітру	Відстань, км	Уміст ВМ у ґрунтах, мг/кг			
		Cd	Pb	Zn	Cu
зах., півн.-зах.	10	0,9/0,12*	18/0,9	64/6,1	16/1,9
зах., півн.-зах.	20	0,7/0,09	16/0,8	58/5,6	16/1,8
зах., півн.-зах.	30	0,8/0,10	13,9/0,7	55/5,6	17/1,9
півд., сх.	10	0,3/0,06	16/0,6	47/4,8	16/1,8
півд., сх.	20	0,3/0,05	16/0,4	44/4,6	13,5/1,7

*Примітка: чисельник — валові форми ВМ, знаменник — рухомі форми ВМ (рН 4,8).

значено різний уміст гумусу. Результати аналітичних досліджень щодо характеристики ґрунтів наведено в табл. 2.

Зразки досліджуваного ґрунту характеризувались нейтральною реакцією середовища. Вміст гумусу полів відрізнявся на 1,3% і становив 3,6 і 4,9%. Відповідно до шкали буферності ґрунтів щодо ВМ за В.Б. Ільїним [21], такий уміст гумусу обумовлює різний рівень цього показника — відповідно 3,5 і 5 балів. Органічна речовина ґрунту обумовлює вплив на рухомість ВМ і, як наслідок, на їх доступність для рослин. Для міді, цинку і свинцю концентрація кислоторозчинних форм за збільшення вмісту гумусу зменшилась незначно, одночасно і вміст рухомих форм, доступних для рослин, знизився майже вдвічі (табл. 2). Щодо вмісту кислоторозчинних і рухомих форм кадмію, такої різниці не спостерігалось. Більш чітке уявлення про рухомість ВМ у ґрунті забезпечує кількісний показник рухомості — ступінь рухомості (ω , %), який було розраховано за співвідношенням концентрації рухомих форм елемента і концентрації його кислоторозчинної форми.

За зростання вмісту гумусу в ґрунті з 3,6 до 4,9% ступінь рухомості кадмію змінюється

неістотно — становить 26,2 і 24,6% відповідно і має найбільше значення серед досліджених елементів. Одночасно за цих самих умов ступінь рухомості міді, свинцю і цинку зменшилась майже вдвічі. Отже, встановлено, що для чорнозему звичайного малогумусного за нейтральної реакції середовища вміст рухомих форм міді, цинку і свинцю істотно залежить від вмісту гумусу. Для кадмію ваговою залежності не відзначено. За показниками ступеня рухомості в ґрунті ВМ за доступністю для рослин розташовуються в ряд: $Cd > Cu > Zn > Pb$, тобто буферні властивості чорнозему звичайного є різними для досліджуваних елементів.

Як відомо, рослини можуть вибірково поглинати і накопичувати елементи, необхідні для свого росту та розвитку. Експериментальні результати з визначення вмісту ВМ у основній і побічній продукції пшениці озимої наведено в табл. 3.

Уміст ВМ у зерні пшениці озимої не перевищував максимально допустимих рівнів для харчування дорослого населення [22], окрім кадмію, що у деяких зразках був в 1,5 раза вищим відповідно. Біогенні елементи, як-от мідь і цинк більше накопичувались в регенеративних

Таблиця 2

Агрохімічні показники чорнозему звичайного малогумусного в зоні техногенного впливу ТЕС (відстань від джерела забруднення — 3 км)

Зразок	Вміст гумусу, %	рН	Вміст ВМ, мг/кг								Ступінь рухомості ω , %			
			Cu		Zn		Pb		Cd		Cu	Zn	Pb	Cd
			1*	2	1	2	1	2	1	2				
Ґрунт 1	3,6	7,0	8,6	1,0	18,3	1,7	4,5	0,42	0,65	0,17	11,9	9,3	9,3	26,2
Ґрунт 2	4,9	7,0	7,7	0,5	17,5	0,9	4,2	0,22	0,57	0,14	6,9	5,1	5,3	24,6
НІР ₀₅			0,9	0,2	1,6	0,4	0,3	0,09	0,11	0,06				

*Примітка: 1 — кислоторозчинна форма, 2 — рухома форма.

Таблиця 3

Уміст важких металів у рослинах пшениці озимої

Зразок	Уміст ВМ у рослинній продукції, мг/кг							
	Cu		Zn		Pb		Cd	
	1	2	1	2	1	2	1	2
Ґрунт 1	7,1	4,8	36,2	23,8	0,50	0,81	0,15	0,28
Ґрунт 2	6,0	3,9	31,5	21,4	0,39	0,67	0,12	0,22
НІР _{0,5}	0,7	0,5	2,6	1,3	0,08	0,10	0,01	0,01
МДР	10		50		0,5		0,10	

*Примітка: 1 — зерно, 2 — солома; МДР — максимально допустимі рівні.

Таблиця 4

Коефіцієнти біологічного поглинання важких металів пшеницею озимою

Назва зразка	Коефіцієнти біологічного поглинання			
	Cu	Zn	Pb	Cd
Зерно	0,78–0,83	1,8–2,0	0,09–0,11	0,21–0,23
Солома	0,50–0,56	1,2–1,3	0,16–0,18	0,39–0,43

органах порівняно з вегетативними органами. Свинець і кадмій, що відносяться до елементів першого класу небезпеки, навпаки, значно більше накопичувались в соломі, ніж у зерні. Встановлено зменшення вмісту міді і цинку в зерні і соломі пшениці озимої за зростання вмісту гумусу; вміст свинцю у зерні знизився на 22%. Зниження надходження ВМ у рослини з ґрунтів з більшим умістом гумусу вірогідно зумовлено здатністю гумінових кислот адсорбувати іони металів. Крім високої катіонообмінної здатності, органічні речовини ґрунту можуть створювати міцні комплекси з ВМ, що не засвоюються рослинами.

Інтенсивність біоаккумуляції ВМ рослинами оцінювали за допомогою коефіцієнта біологічного поглинання, який надає змогу дійти висновку про ступінь доступності елемента для рослин та про його міграцію в системі «ґрунт — рослина». Коефіцієнт біологічного поглинання визначали за співвідношенням хімічного елемента в золі рослин і його вмісту у ґрунті [23]. Отримані результати наведено в табл. 4.

Результати аналізу коефіцієнтів біологічного поглинання надали змогу виявити деякі закономірності в біологічному накопиченні ВМ рослинністю з ґрунту. Дані табл. 4 свідчать, що найвищу біологічну рухомість має цинк. Уміст свинцю в ґрунті є значно вищим порівняно з

умістом кадмію, але коефіцієнт біологічного поглинання кадмію, навпаки, — майже вдвічі вищий від відповідного показника щодо свинцю. Це, вірогідно, обумовлено наявністю у кореневої системи рослин бар'єрних властивостей щодо цього елемента.

Висновки. Для чорнозему звичайного малогумусного за нейтральної реакції середовища концентрація рухомих елементів, як-от міді, цинку і свинцю зменшується з підвищенням вмісту гумусу у ґрунті. Щодо кадмію, такої залежності не виявлено. За показниками ступеня рухомості в ґрунті ВМ розташовуються так: $Cd > Cu > Zn > Pb$, тобто буферні властивості чорнозему звичайного є відмінними для різних елементів.

Встановлено закономірності накопичення ВМ вегетативними і регенеративними органами пшениці озимої у зоні техногенного впливу ТЕС. Інтенсивність міграції міді і цинку в зерно є вищою, ніж у соломі. Кадмію і свинцю більше накопичується в соломі, ніж у зерні. Щодо цинку, спостерігається міграція ВМ із ґрунту в рослини, для кадмію і свинцю — розсіювання.

Отримані результати надають змогу оцінювати ризики забруднення зернової продукції ВМ і прогнозувати можливість вирощування екологічно безпечної продукції в регіонах високого техногенного тиску.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Некос А.Н. Акумулятивні властивості рослин як фактор формування екологічної безпеки рослинної харчової продукції (на прикладі Харківського регіону) // Людина та довкілля. Проблеми неоекології. 2012. № 1–2. С. 100–107.
2. Фатеев А.І., Мірошніченко М.М., Самохвалова В.Л., Биндич Т.Ю. До питання оцінки рівнів небезпеки забруднення ґрунтів важкими металами // Вісник аграрної науки. 1999. № 10. С. 39–62.
3. Балюк С.А., Ладних В.Я., Мошник Л.В. Оцінка забруднення зрошувальної води та ґрунтів важкими металами // Вісник аграрної науки. 2003. № 1. С. 65–68.
4. Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях. М., 1989. 493 с.
5. Фатеев А.І., Лопушняк В.І. Вплив систем удобрення на рухомість кадмію в темно-сірому опідзоленому ґрунті західного лісостепу України // Агрохімія і ґрунтознавство. 2015. Вип. 82. С. 33–36.
6. Балюк С.А., Ладних В.Я., Мошник Л.В. Стан та родючість земель Донбасу // Водне господарство України. 1997. № 6. С. 17–19.
7. Самохвалова В., Фатеев А., Лучникова Є., Ликова О. Еколого-геохімічні дослідження вмісту різних форм Со, Ni, Cr у ґрунтах різного генезису в Україні // Вісник Львівського університету. 2012. Вип. 60. С. 171–181.
8. Балюк С.А., Медведєв В.В., Мірошніченко М.М. Екологічний стан ґрунтів України // Український географічний журнал. 2012. № 2. С. 38–42.

9. Ряховский А.В., Кравченко В.Н. Содержание тяжелых металлов в почвах и растениях // Земледелие. 2004. № 4. С. 26–29.
10. Сундукнов Я.Т., Шагиева Ю.А. Особенности загрязнения черноземов тяжелыми металлами // Аграрная наука. 2008. № 1. С. 10–14.
11. Глазовская М.А. Проблемы и методы оценки эколого-геохимической устойчивости почв и почвенного покрова к техногенным воздействиям // Почвоведение. 1999. № 1. С. 114–124.
12. Фатеев А.І., Мірошніченко М.М., Бородіна Я.В. Нормування вмісту міцно фіксованих форм важких металів у ґрунтах // Вісник аграрної науки. 2011. № 9. С. 41–44.
13. Фатеев А.І., Семенов Д.О., Мірошніченко М.М., Ликова О.А., Смірнова К.Б., Шемет А.М. Співвідношення скг/сфк у ґрунтах України як показник рухомості мікроелементів // Вісник аграрної науки. 2013. Вип. 7. С. 16–19.
14. Алексеев Ю. В. Тяжелые металлы в почвах и растениях. М.: Агропромиздат, 1987. 142 с.
15. Ильин В.Б. Тяжелые металлы в системе «почва — растение». Новосибирск: Наука, 1991. 151 с.
16. Жовинский Э.Я., Кураева И.В. Геохимия тяжелых металлов в почвах Украины. К.: Наук. думка, 2002. 347 с.
17. Агроекологічний моніторинг та паспортизація сільськогосподарських земель: методично-нормативне забезпечення / за заг. ред. В.П. Патики, О.Г. Тараріко. К.: Фітосоціоцентр, 2002. С. 35–37.
18. Якість ґрунту. Визначення вмісту рухомих сполук марганцю (цинку, кадмію, заліза, кобальту, міді, нікелю, хрому, свинцю) в ґрунті в буферній амонійно-ацетатній витяжці з рН 4,8 методом атомно-абсорбційної спектрофотометрії: ДСТУ 4770.1:2007 — ДСТУ 4770.9:2007. [Чинний від 2007-04-28] Київ: Держспоживстандарт України, 2007. (Національні стандарти України).
19. Методические указания по определению тяжелых металлов в почвах сельскохозяйственных угодий и продукции растениеводства. М.: ЦИНАО, 1992. 61 с.
20. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.
21. Ильин В.Б. Оценка буферности почв по отношению к тяжелым металлам // Агрехимия. 1995. № 10. С. 109–113.
22. Пшениця. Технічні умови: ДСТУ 3768-2010. [Чинний від 2010-04-01] Київ: Держспоживстандарт України, 2010. (Національні стандарти України).
23. Перельман А.И., Касимов Г.Н. Геохимия ландшафтов. М.: Астрей, 1999. 768 с.

Інформація про авторів

Коноваленко Людмила Іванівна — кандидат хімічних наук, старший науковий співробітник відділу технологій виробництва сільськогосподарської продукції, Донецька державна сільськогосподарська дослідна станція НААН (Україна, 85307, Донецька область, м. Покровськ, вул. Захисників України, 1; e-mail: cnzdiapw@ukr.net)

Бондарева Ольга Браунівна — кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, учений секретар, Донецька державна сільськогосподарська дослідна станція НААН (Україна, 85307, Донецька область, м. Покровськ, вул. Захисників України, 1; e-mail: olbraun58dds@ukr.net)

Вінюков Олександр Олександрович — кандидат сільськогосподарських наук, старший науковий співробітник, директор, Донецька державна сільськогосподарська дослідна станція Національної академії аграрних наук України (Україна, 85307, Донецька область, м. Покровськ, вул. Захисників України, 1; e-mail: alex.agronomist@gmail.com)

L.I. Konovalenko
Candidate of Chemical Sciences
Donetsk State Agricultural Science Station of NAAS
(Ukraine, Hryshyne; e-mail: cnzdiapw@ukr.net)
O.B. Bondareva
Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher
Donetsk State Agricultural Science Station of NAAS
(Ukraine, Hryshyne; e-mail: olbraun58dds@ukr.net)
O.O. Vinyukov
Candidate of Agricultural Sciences
Donetsk State Agricultural Science Station of NAAS
(Ukraine, Hryshyne; e-mail: alex.agronomist@gmail.com)

INFLUENCE OF BUFFER ABILITY OF THE SOIL ON BIOACCUMULATION OF HEAVY METALS BY WINTER WHEAT IN THE ZONE OF INFLUENCE TPP

The effect of the buffering ability of common chernozem on the bioaccumulation of heavy metals by winter wheat in the zone of technogenic impact of TPPs was studied. The mobility of heavy metals de-

pending on the humus content in the arable layer of the soil and their accumulation in winter wheat plants under the conditions of anthropogenic load in the southeastern industrial region are studied. The content of gross and mobile forms of copper (Cu), zinc (Zn), lead (Pb) and cadmium (Cd) in soils, which are the largest pollutants of agrolandscapes in Donetsk region, is highlighted. The content of these elements was also determined in the grain and straw of winter wheat. It is established that in the soil cover of Donetsk region, chernozems dominate (74% of the total agricultural land), which are characterized by significant buffering to heavy metals; for ordinary chernozem in the technogenic zone of the Kurakhovskaya TPP, an increase in the humus content from 3.6 to 4.9% contributes to a decrease in the concentration of mobile Cu, Zn and Pb by almost 2 times. Under these conditions, the content of mobile cadmium did not change significantly. In terms of the degree of mobility in the soil, heavy metals in terms of accessibility to plants are arranged in a row: $Cd > Cu > Zn > Pb$, that is, the buffer properties of ordinary chernozem are different for each of the elements studied. Zinc has the highest biological mobility. The lead content in the soil is much higher compared to the cadmium content, but the biological absorption coefficient of cadmium is almost twice as high. Biogenic elements such as copper and zinc accumulate more in regenerative organs, and the content of lead and cadmium was higher in straw. A decrease in the content of copper and zinc in grain and straw of winter wheat with an increase in the content of humus was revealed, while the content of lead in grain decreased by 22%. The results obtained make it possible to assess the risks of contamination of grain products with heavy metals and to predict the possibility of growing environmentally friendly products in regions of high technological pressure.

Keywords: technogenic pollution, soil buffering, humus, heavy metals, mobility level, winter wheat, grain, straw, coefficient of biological absorption.

REFERENCES

1. Nekos, A.N. (2012). Akumulyatyvni vlastyivosti roslyn yak faktor formuvannya ekolohichnoyi bezpeky roslynnoyi kharchovoyi produktsiyi (na prykladi Kharkivs'koho rehionu) [Accumulative properties of plants as a factor of formation of ecological safety of plant food products (on an example of the Kharkiv region)]. *Lyudyna ta dovkillya. Problemy neokolohiyi* [Man and environment. Issues of neoecology], 1–2, 100–107. (In Ukr.)
2. Fateev, A.I., Miroshnichenko, M.M., Samokhvalova, V.L. and Bindych, T.Yu. (1999). Do pytannya otsinky rivniv nebezpeky zabrudnennya gruntiv vazhkymy metalamy [On the question of assessment of levels of soil pollution by heavy metals]. *Visnyk ahrarnoyi nauky* [Bulletin of Agrarian Science], 10, 39–62. (In Ukr.)
3. Balyuk, S.A., Ladnykh, V.Ya. and Moshnik, L.V. (2003). Otsinka zabrudnennya zroshuval'noyi vody ta gruntiv vazhkymy metalamy [Estimation of pollution of irrigation water and soils by heavy metals]. *Visnyk ahrarnoyi nauky* [Bulletin of Agrarian Science], 1, 65–68. (In Ukr.)
4. Kabata-Pendias, A. & Pendias, X. (1989). *Mikrojelementy v pochvah i rastenijah* [Microelements in soils and plants]. Moscow: Mir. 493. (In Russ.)
5. Fateev, A.I. & Lopushniak, V.I. (2015). Vplyv system udobrennya na rukhomist' kadmiyu v temnosiroму opidzolenomu grunti zakhidnoho lisostepu Ukrayiny [Influence of Fertilizer Systems on Cadmium Movement in Dark Gray Hardened Soils of Western Forest-Steppe of Ukraine]. *Ahrokhimiya i hruntoznavstvo* [Agrochemistry and Soil Science], 82, 33–36. (In Ukr.)
6. Balyuk, S.A., Ladnykh, V.Ya. and Moshnik, L.V. (1997). Stan ta rodyuchist' zemel' Donbasu [Status and Fertility of the Donbas Land]. *Vodne hospodarstvo Ukrayiny* [Water Management of Ukraine], 6, 17–19. (In Ukr.)
7. Samokhvalova, V., Fateev, A., Luchnikova, E. and Lykova, O. (2012). Ekoloho-heokhimichni doslidzhenya vmistu riznykh form Co, Ni, Cr u gruntakh riznoho henezysu v Ukrayini [Ecological-geochemical studies of the content of various forms of Co, Ni, Cr in soils of different genesis in Ukraine]. *Visnyk L'vivs'koho universytetu* [Visnyk of Lviv National University], 60, 171–181. (In Ukr.)
8. Balyuk, S.A., Medvedev, V.V. and Miroshnichenko, M.M. (2012). Ekolohichnyy stan gruntiv Ukrayiny [Ecological state of soil of Ukraine]. *Ukrayins'kyi heohrafichnyy zhurnal* [Ukrainian Geographical Journal], 2, 38–42. (In Ukr.)
9. Ryakhovsky, A.V. & Kravchenko, V.N. (2004). Soderzhaniye tyazhelykh metallov v pochvakh i rasteniyakh [The content of heavy metals in soils and plants]. *Zemledeliye* [Zemledelie], 4, 26–29. (In Russ.)
10. Suundukov, Y.T. & Shagieva, Yu.A. (2008). Osobennosti zagryazneniya chernozemov tyazhelymi metalami [Features of contamination of chernozems by heavy metals]. *Agrarnaya nauka* [Agrarian science], 1, 10–14. (In Russ.)
11. Glazovskaya, M.A. (1999). Problemy i metody otsenki ekologo-geokhimicheskoy ustoychivosti pochv i pochvennogo pokrova k tekhnogennym vozdeystviyam [Problems and methods of estimation of ecological and geochemical stability of soils and soil cover to man-made impacts]. *Pochvovedenie* [Eurasian Soil Science], 1, 114–124. (In Russ.)

12. Fateev, A.I., Miroshnichenko, M.M. and Borodin, Ya.V. (2011). Normuvannya vmistu mitsno fiksovanykh form vazhkykh metaliv u gruntakh [Rationing of the content of firmly fixed forms of heavy metals in soils]. *Visnyk ahrarnoyi nauky [Bulletin of Agrarian Science]*, 9, 41–44. (In Ukr.)
13. Fateev, A.I., Semenov, D.O., Miroshnichenko, M.N., Lykova, O.A., Smirnova, K.B., Shemet, A.M. (2013). Spivvidnoshennya shk/sfk u gruntakh Ukrainy yak pokaznyk rukhomosti mikroelementiv [Correlation of sgk/spk in soils of Ukraine as an indicator of mobility of trace elements]. *Visnyk ahrarnoyi nauky [Bulletin of Agrarian Science]*, 7, 16–19. (In Ukr.)
14. Alekseev, Yu.V. (1987). Tyazhelye metally v pochvakh i rastenyakh [Heavy metals in soils and plants]. M.: Agropromizdat. 142. (In Russ.)
15. Ilyin, V.B. (1991). *Tyazhelye metally v sisteme «pochva — rasteniye» [Heavy metals in the system «soil — plant»]*. Novosibirsk: Science. 151. [in Russ.]
16. Zhovinsky, E.Y. & Kuraeva, I.V. (2002). *Geokhimiya tyazhelykh metallov v pochvakh Ukrainy [Geochemistry of heavy metals in the soils of Ukraine]*. K.: Naukova dumka. 347. (In Russ.)
17. Patyka, V.P., Tarariko, O.G., ed. (2002). *Ahroekolohichnyy monitoring ta pasportyzatsiya sil's'kohospodars'kykh zemel': metodychno-normatyvne zabezpechennya [Agro-ecological monitoring and certification of agricultural land: methodological and normative maintenance]*. K.: Fitosotsiotsentr. 35–37. (In Ukr.)
18. *Yakist' gruntu. Vyznachennya vmistu rukhomykh spoluk marhantsyu (tsynku, kadmiyu, zaliza, kobaltu, midi, nikelyu, khromu, svyntsyu) v grunti v buferniy amoniyno-atsetatniy vytyazhshi z rN 4,8 metodom atomno-absorbtsiynoyi spektrofotometriyi: DSTU 4770.1:2007 — DSTU 4770.9:2007 [Quality of soil. Determination of the content of mobile compounds of manganese (zinc, cadmium, iron, cobalt, copper, nickel, chromium, lead) in a soil in a buffer ammonium acetate extract with pH 4.8 by atomic absorption spectrophotometry: DSTU 4770.1: 2007 — DSTU 4770.9: 2007]*. (2007). Kyiv: Derzhspozhyvstandart Ukrainy. (In Ukr.)
19. *Metodicheskiye ukazaniya po opredeleniyu tyazhelykh metallov v pochvakh sel'skokhozyaystvennykh ugodiy i produktsii rasteniyevodstva [Methodical instructions for the determination of heavy metals in soils of agricultural land and plant products]*. M.: CINAO, 1992. 61. (In Russ.)
20. Dospokhov, B.A. (1985). *Metodika polevogo opyta [Methodology of field experience]*. M.: Agropromizdat. (In Russ.)
21. Il'in, V.B. (1995). Otsenka bufernosti pochv po otnosheniyu k tyazhelym metallam [Estimation of soil buffering with respect to heavy metals]. *Agrokimiya [Agrochemistry]*, 10, 109–113. (In Russ.)
22. Pshenytsya. *Tekhnichni umovy: DSTU 3768-2010 [Wheat. Specifications: DSTU 3768-2010]*. Kyiv: Derzhspozhyvstandart Ukrainy, 2010. (In Ukr.)
23. Perelman, A.I. & Kasimov, G.N. (1999). *Geokhimiya landshaftov [Geochemistry of Landscapes]*. M.: Astreya. 768. (In Russ.)

Authors

Konovalenko Lyudmila Ivanovna — Candidate of Chemical Sciences, Senior Researcher, Department of Agricultural Production Technologies, Donetsk state agricultural science station of NAAS (Ukraine, 85307, Donetsk region, Pokrovsk, 1 Zashchitnikov Ukrainy St.; e-mail: cnzdiapw@ukr.net)

Bondareva Olga Braunovna — Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher, Scientific Secretary, Donetsk state agricultural science station of NAAS (Ukraine, 85307, Donetsk region, Pokrovsk, 1 Zashchitnikov Ukrainy St.; e-mail: olbraun58dds@ukr.net)

Vinyukov Aleksandr Aleksandrovich — Candidate of Agricultural Sciences, Director, Donetsk state agricultural science station of NAAS (Ukraine, 85307, Donetsk region, Pokrovsk, 1 Zashchitnikov Ukrainy St.; e-mail: alex.agronomist@gmail.com).