



# Агроекологія, радіологія, меліорація

УДК 546.55:574:58.02

© 2017

*О.О. Іващенко,  
академік НААН,  
доктор сільсько-  
господарських наук*

*Інститут  
біоенергетичних культур  
і цукрових буряків НААН*

*В.В. Швартау,  
член-кореспондент  
НАН України,  
доктор біологічних наук*

*Інститут фізіології рослин  
і генетики НАН України*

*О.О. Іващенко,  
доктор сільсько-  
господарських наук*

*В.О. Андреев  
Інститут захисту  
рослин НААН*

## ОСОБЛИВОСТІ ЗАБРУДНЕННЯ ОРНИХ ЗЕМЕЛЬ ВАЖКИМИ МЕТАЛАМИ З АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ

**Мета.** Визначити особливості забруднення орних земель полювантами — свинцем, марганцем та кадмієм, що надходять з автомобільних доріг. **Методи.** Аналіз умісту в ґрунті важких металів проводили методом ICP-MS на емісійному мас-спектрометрі Agilent 7700x. **Результати.** Зі збільшенням відстані від джерела забруднення (автострада Київ — Одеса) знижується концентрація продуктів спалювання автомобільного палива в приземному шарі повітря та їх акумуляція в орному шарі ґрунту. **Висновки.** Найвищі рівні накопичення важких металів у ґрунті було встановлено на відстані 5 м від дороги, найнижчі — 1280 м. У результаті збільшення відстані від автомагістралі до 1280 м спостерігалось зниження рівня накопичення свинцю у 1,67 раза, марганцю — 1,07, кадмію — у 40 разів.

**Ключові слова:** важкі метали, мас-спектрометрія, забруднення ґрунтів.

Діяльність людини істотно пришвидшує природне переміщення речовин, що надходять до орного шару [1]. На орні землі потрапляють природні й антропогенні речовини — полюванти [2–4]. Крім промислового забруднення — побічних речовин діяльності енергетичних, металургійних, гірничо-збагачувальних, хімічних і комунальних об'єктів до ґрунту потрапляють і забруднення, які потоками повітря переносяться з автомобільних доріг [5].

Серед продуктів згоряння автомобільного палива в приземний шар повітря та

аерозолів в орний шар ґрунту надходять сполуки азоту (N), вуглецю (C), свинцю (Pb), марганцю (Mn), кадмію (Cd) та інших хімічних елементів [6, 7]. Частина таких сполук здатна зв'язуватися з неорганічними та органічними речовинами ґрунтового комплексу, наявними в орному шарі [8, 9].

Переходу сполук важких металів у розчинний стан і колоїди сприяють низькі показники рН середовища, тому такі сполуки набувають здатності до транслокації і надходять у тканини рослин [10]. Зростає й небезпека забруднення сполуками важких

металів поверхневих вод (вода річок і озер, підґрунтові води до глибини 50 м) [11]. На здатність до переміщення сполук важких металів у воді впливають наявність вільного доступу кисню ( $O_2$ ) і концентрація вуглекислого газу ( $CO_2$ ) [12].

Сполуки важких металів забруднюють орний шар ґрунту [13]. Період напіввиведення з ґрунту важких металів у результаті природної міграції хімічних елементів та їх сполук досить тривалий: для свинцю — 770–5900 років, кадмію — 13–110, цинку (Zn) — 70–510, міді (Cu) — 310–1500 років [14].

За анаеробних умов середовища значна кількість сполук важких металів стає доступнішою для рослин, тому надлишок води в орному шарі ґрунту сприяє процесам переходу важких металів у розчинні форми [15].

**Мета досліджень** — визначити основні закономірності забруднення орних земель поблизу автострад важкими металами — свинцем, марганцем, кадмієм.

**Методи досліджень.** Дослідження було проведено в 2016–2017 рр. на орних землях у Васильківському р-ні Київської обл., що безпосередньо прилягають до автотраси Київ — Одеса. ґрунт полів, де проводили відбір зразків для аналізів, — темно-сірий опідзолений, середньосуглинковий на карбонатному лесі, типовий для північної частини Лісостепу України.

Облікові ділянки площею 25 м<sup>2</sup> у 6-разовій повторності розміщували на відстані 5 м, 10, 20, 40, 80, 160, 320, 640, 1280 м від полотна автомобільної дороги. Зразки ґрунту відбирали з орного шару (0–30 см) у 5-ти точках на ділянках кожного повторення і після ретельного перемішування брали середній зразок вагою 2 кг. Аналіз умісту в ґрунті важких металів проводили в Інституті фізіології рослин і генетики НАН України. Визначення елементного складу в дослідних зразках здійснювали методом ICP-MS на емісійному мас-спектрометрі Agilent 7700x. Зразки висушували до постійної маси і озолювали в азотній кислоті (осч) за допомогою мікрохвильової пробопідготовки Milestone Start D. Отриманий екстракт доводили до об'єму 50 мл водою 1-го класу (18 Мом), підготовленою на системі очищення води Scholar-UV Nex Up 1000 (Human Corporation, Корея).

Результати дослідів опрацьовували статистично згідно зі стандартними методиками [3, 4] за допомогою програми Excel, математичну обробку отриманих даних здійснювали за допомогою професійного пакета програм для статистичного аналізу Statistica 8,0. Застосовували дисперсійний аналіз, відмінності між середніми значеннями вважали вірогідними за  $P < 0,05$ .

**Результати досліджень.** Автомобільна дорога, особливо з інтенсивним рухом транспорту, є потужним джерелом забруднення довкілля. Автомобільний транспорт в результаті роботи двигунів внутрішнього згоряння викидає в приземний шар повітря продукти згоряння палива. Потоками повітря від полотна доріг вони розносяться на прилеглі площі і поступово осідають на рослинність та поверхню ґрунту. У продуктах згоряння палива і технологічних присадок, наявних у ньому, у приземний шар атмосфери надходять численні поллютанти, у тому числі й сполуки важких металів, що накопичуються в орному шарі.

Забруднення, що створюють автомобілі, менш помітні порівняно із забрудненням промисловими об'єктами, проте за умов великої кількості транспортних засобів негативний вплив вихлопних газів може істотно перевершувати антропогенну побічну дію, скажімо заводу. Хімічний склад вихлопних газів автомобілів різноманітний і шкідливий для живих організмів.

Широка практика застосування антидетонаційних присадок до палива, зокрема тетраетил свинцю (ТЕС) та сполук марганцю, у результаті спалювання призводить до надходження їх в атмосферу і розсіювання на значних територіях. ТЕС має високий рівень токсичності і добре акумулюється в організмі людини — у тканинах кісток, клітинах печінки та нирок. Навіть за умов інтенсивного лікування виведення сполук свинцю з організму людини відбувається дуже повільно. ГДК для ТЕС у воді, повітрі та продуктах харчування для людини не допускається.

Через загазоване вихлопними газами і забруднене повітря жителі і працівники, що займаються виконанням своїх службових обов'язків, на невеликій відстані від автомобільних магістралей отримують до 90 мкг

на добу сполук свинцю, зокрема і у формі ТЕС ( $C_2H_5)_4Pb$ ). Величина надходження свинцю та його сполук може становити 250–300 мкг на добу.

Сполуки свинцю, особливо ТЕС, добре розчиняються в органічних розчинниках, жирах і ліпідах, де можуть накопичуватися. ТЕС — канцероген, дуже отруйний і належить до 1-го класу небезпечних речовин.

Дослідженнями доведено, що вміст сполук свинцю у зразках ґрунту залежно від відстані до дороги був неоднаковим. Найбільшу концентрацію сполук свинцю (11,40 мкг/кг) було зафіксовано поблизу полотна автомобільної дороги.

У зразках ґрунту, відібраних на відстані вдвічі більшій, ніж у попередньому варіанті (10 м), концентрація сполук свинцю була меншою. Вона становила 7,86 мкг/кг, або 68,9% від величини, зафіксованої на відстані 5 м від дороги. Отже, найбільше пилоподібних часток продуктів згоряння автомобільного палива зі сполуками свинцю осідає безпосередньо поблизу полотна дороги.

Менші за розміром тверді частки і газоподібні речовини, що потрапляють у повітряні потоки в результаті роботи двигунів внутрішнього згоряння, мають високий рівень мобільності. Конвекційні потоки повітря здатні переміщувати їх на великі відстані.

В аналізах наступних зразків ґрунту з орного шару, відібраних на відстані 40 м, 80, 160, 320, і 640 м від дороги, виявлено концентрацію сполук свинцю від 7,72 до 7,22 мкг/кг. Тобто на таких відстанях від джерела забруднення осідання сполук свинцю у формі дрібних пилоподібних часток із потоків повітря відбувається відносно рівномірно (таблиця). Лише на відстані 1280 м від

полотна автостради величина накопичення сполук свинцю в пробах ґрунту на орних землях виявляла тенденцію до статистично достовірного зниження й становила 6,845 мкг/кг, або 60% від максимальних показників у досліджах.

Зазначимо, що на кислих ґрунтах (показники рН ґрунтового розчину менше 5,5) сполуки свинцю здатні переходити в розчинний стан у формах справжніх розчинів або колоїдів, взаємодіяти з ґрунтовым поглинальним комплексом та надходити до рослин. Такі сполуки свинцю, як ТЕС передусім є джерелом забруднення території орних земель, прилеглих до автомобільних доріг.

Порівняно з кількістю свинцю уміст марганцю та його сполук у ґрунті був істотно вищим. Хімічний елемент марганець досить поширений у земній корі і наявний переважно у формі сульфідних сполук осадових порід. Унаслідок взаємодії з водою і повітрям такі речовини здатні до міграції, часто на значні відстані.

Марганець і його сполуки надходять у вихлопні гази автомобілів загалом з 2-х джерел: антидетонаційних присадок і стінок циліндрів двигунів, виготовлених із легованої сталі, і містять у своєму складі марганець.

У формі твердих пилоподібних часток аерозолів сполуки марганцю в результаті спалювання моторного палива надходять у приземні шари атмосфери і розвіюються вітром на значні території. Поступове осідання таких часток призводить до їх накопичення в орному шарі ґрунту.

Значне поширення сполук марганцю в довкіллі зменшує контрастність змін величини його надходження з автомобільних

***Рівень забруднення орних земель важкими металами поблизу автотраси Київ — Одеса у 2016–2017 рр. (n=30), мкг/кг ґрунту***

Важкі метали	Місце відбору проб ґрунту від полотна дороги, м								
	5	10	20	40	80	160	320	640	1280
Pb	11,40	7,86*	8,21	7,72	7,36*	7,37	7,54	7,22	6,85*
Mn	283,5	283,7	289,9*	292,7*	277,7*	278,7	276,0	273,4	264,3*
Cd	0,320	0,092*	0,061*	0,088	0,072	0,079	0,019*	0,016	0,017

\*Різниця показників між варіантами (від 5 до 1280 м) вірогідна за  $P < 0,05$ .

доріг на прилеглі орні землі. На відстані 5 м від полотна дороги вміст сполук марганцю в орному шарі становив 283,5 мг/кг ґрунту, а збільшення відстані від дороги мало впливало на показники зниження рівня сполук марганцю в орному шарі. На максимальній у досліді дистанції від полотна автостради — 1280 м величина забруднення сполуками марганцю в орному шарі ґрунту становила 264,3 мг/кг, або 93,2% від величини, зафіксованої на відстані 5 м від дороги. Марганець в орному шарі ґрунту перебуває переважно в нерозчинному стані, тому його надходження до рослин обмежене.

Найнебезпечнішими для людини є сполуки марганцю. Так, кількість сполук марганцю в повітрі населених пунктів вище 0,01 мг/м<sup>3</sup> шкідлива для людей. У результаті дихання таким повітрям відбувається поступове руйнування нервової системи.

Сполуки марганцю належать до 2-го класу небезпеки. Порівняно зі сполуками свинцю сполуки марганцю менш небезпечні.

Антидетонаційні присадки палива на основі сполук марганцю є екологічно безпечнішими порівняно з ТЕС, проте й вони не повністю нейтральні для довкілля.

Небезпечним забруднювачем орних земель є хімічний елемент кадмій і його сполуки. Унаслідок антропоної діяльності людини він надходить у біологічні комплекси. Забруднення довкілля кадмієм і його сполуками (майже 52%) відбувається за рахунок процесів спалювання палива, яке містить у своєму складі сполуки цього важкого металу. Сполуки кадмію наявні і в нафтопродуктах, мінеральних добривах, широко застосовуваних у сучасному інтенсивному землеробстві.

Аналіз відібраних на орних землях проб ґрунту на різній відстані від дороги виявив істотні зміни рівня акумуляції сполук кадмію в орному шарі. Найбільші показники накопичення сполук кадмію було зафіксовано в пробах, відібраних на відстані 5 м від полотна автостради, — 0,32 мг/кг ґрунту. Зі збільшенням дистанції місць відбору зразків ґрунту від дороги до 10 м величина забруднення орного шару сполуками кадмію істотно зменшилася і становила 0,092 мг/кг ґрунту, або 28,8% від попередніх показників.

На відстані 160 м від дороги проби містили в середньому 0,079 мг/кг ґрунту сполук кадмію. Динаміка зміни величин акумуляції в орному шарі ґрунту кадмію і його сполук свідчить про те, що зі збільшенням відстані від джерела забруднення і зменшенням показників концентрації в приземному шарі політантів інтенсивність їх осідання і накопичення знижується. На відстані 160 м від дороги величина акумуляції цього важкого металу становила 24,7% від величини, зафіксованої на відстані 5 м від дороги.

У зразках, відібраних на максимальній дистанції від дороги, кількість сполук кадмію становила 0,008 мг/кг, або 2,5% від максимального рівня накопичення в досліді.

В орному шарі сполуки кадмію, що перебувають у нерозчинному стані, для більшості організмів, зокрема й рослин, малодоступні. Проте за низьких показників рН середовища (5,5 і менше) у результаті корневих виділень взаємодії із ґрунтовою вологою сполуки кадмію переходять у розчинний стан і ґрунтові колоїди та можуть поглинатися рослинами.

Разом із харчовими продуктами сполуки кадмію можуть потрапляти в організм людини. Кадмій блокує активність численних ферментів і перебіг біохімічних реакцій, що забезпечують життєдіяльність організму. За рівнем токсичної дії на організм людини кадмій і його сполуки належать до 1-го класу небезпеки.

Установленого ГДК у харчових продуктах для кадмію і його сполук немає. Наявність кадмію і його сполук у повітрі населених пунктів та промислових зон є небезпечною. Вдихання повітря з частками сполук кадмію з концентрацією 5 мг/м<sup>3</sup> упродовж 8 год летальне для людини.

Забруднення кадмієм та його сполуками довкілля, зокрема й орних земель, є дуже актуальною проблемою і потребує комплексного розв'язання.

Заслуговує також уваги проблема вдосконалення захисту й очищення орних земель від забруднення кадмієм і його сполуками орного шару ґрунту, насамперед на орних землях, що прилягають до автомобільних доріг. Це дасть змогу запобігти потраплянню кадмію та його сполук у харчові продукти.

## Висновки

Серед різноманітності важких металів, що надходять з автомобільних доріг на орні землі, одними з найнебезпечніших є свинець, марганець, кадмій та їхні сполуки, що потрапляють із ґрунту в сільськогосподарські рослини.

Збільшення відстані від джерела забруднення знижує концентрацію продуктів спалювання автомобільного палива в приземному шарі повітря і акумуляцію важких металів в орному шарі ґрунту. Найбільші рівні їх накопичення було встановлено

на відстані 5 м від дороги, найменші — 1280 м. Зі збільшенням відстані зниження рівня накопичення становило: свинцю — у 1,67 раза; марганцю — 1,07; кадмію — у 40 разів.

Для захисту й очищення орних земель від забруднення сполуками свинцю, марганцю та кадмію слід розробити комплекс заходів, що мають передбачати зниження рівня антропогенного забруднення, нейтралізацію й вилучення таких поллютантів з орного шару ґрунту.

## Бібліографія

1. Рейтерс Н.Ф. Экология (теория, законы, правила, принципы и гипотезы)/Н.Ф. Рейтерс. — М.: Россия молодая, 1994. — 325 с.
2. Дмитрук Ю.М. Еколого-геохімічний аналіз ґрунтового покриву агрокосистем/Ю.М. Дмитрук. — Чернівці: Рута, 2006. — 328 с.
3. Бреславець А.І. Техногенно забруднені ґрунти та шляхи їх поліпшення/А.І. Бреславець// Проблеми охорони навколишнього природного середовища та екологічної безпеки: зб. наук. пр. за ред. Г.Д. Коваленка. — Х.: Райдер, 2009. — Вип. 31. — С. 189–202.
4. Velma V. Hexavalent chromium-induced multiple biomarker responses in liver and kidney of goldfish, *Carassius auratus*/V. Velma, P.B. Tchounwou//Environ. Toxicol. — 2011. — № 6. — V. 26. — P. 649–656.
5. Трахтенберг И.М. Тяжелые металлы во внешней среде: Современные гигиенические и токсикологические аспекты/ И.М. Трахтенберг, В.С. Колесников, В.П. Луковенко. — Минск: Наука і техніка, 1994. — 285 с.
6. Distribution of Chromium Contamination and microbial activity in soil aggregates/Т.К. Tokunaga, J. Wan, Т.С. Hazen et al.//J. Environ. Qual. — 2003. — V. 32. — P. 541–549.
7. Prasad M.N.V. Metal hyperaccumulation in plants — Biodiversity prospecting for phytoremediation technology/M.N.V. Prasad, H.M.O. Freitas// Electronic J. of Biotechnology. — 2013. — V.6, № 3. — P. 285–321.
8. Алексеевко А.А. Экологическая геохимия/ А.А. Алексеевко. — М., 2000. — 627 с.
9. Водяницкий Ю.Н. Об опасных тяжелых металлах/металлоидах в почвах/Ю.Н. Водяницкий// Бюлл. Почвенного ин-та им. В.В. Докучаева. — 2011. — Вып. 68. — С. 56–81.
10. Thurman D.A. Mechanism of metal tolerance in higher plants/D.A. Thurman//Effect of heavy metal pollution on plants: in 2 vol. Ed. Lepp N.W. — L.N. Jersey: Applied Science Publ. — 1981. — V. 2. — P. 239–249.
11. Morais S. Heavy Metals and Human Health. Environmental Health — Emerging Issues and Practice/ S. Morais, F.G. Costa, M.L. Pereira//Ed. by J. Oosthuizen. — InTech, 2012. — P. 227–246.
12. Збірник міжнародно-правових актів у сфері охорони довкілля. — 2-е вид., допов. — Львів: Норма, 2002. — 416 с.
13. Лікарські засоби/Належна практика культивування та збирання вихідної сировини рослинного походження, СТ-Н МОЗУ 42-4.5:2012. — Вид. офіц. — К.: МОЗ України, 2012. — 13 с.
14. Окислительный стресс. Прооксиданты и антиоксиданты/Е.Б. Меньщикова, В.З. Ланкин, Н.К. Зенков и др. — М., 2006. — 556 с.
15. Bopp L. Ensimatic reduction of Cr6+ by a strain of *Pseudomonas fluorescens*/L. Bopp, H Ehrlich// Abstr. annu. meet. amer. soc. microbial. — Washington, D.C., 2000. — P. 212–216.

Надійшла 3.07.2017.