

Науковий вісник Львівського національного університету  
ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Гжицького.

Серія: Ветеринарні науки

Scientific Messenger of Lviv National University  
of Veterinary Medicine and Biotechnologies.

Series: Veterinary sciences

ISSN 2518-7554 print

ISSN 2518-1327 online

doi: 10.32718/nvlvet10703

<https://nvlvet.com.ua/index.php/journal>

UDC 615.32:582

## Monitoring of the content of heavy metals in sunflower seeds and its processing products in Ukraine for 2018–2021

S. V. Shuliak<sup>1</sup>, O. M. Chechet<sup>1</sup>, O. S. Haidei<sup>1</sup>✉, Yu. V. Dobrozhan<sup>1</sup>, A. I. Kobysh<sup>1</sup>, I. Yu. Bardyk<sup>1</sup>,  
O. V. Krushelnyska<sup>2</sup>, B. V. Gutyj<sup>2</sup>

<sup>1</sup>State Scientific and Research Institute of Laboratory Diagnostics and Veterinary and Sanitary Expertise, Kyiv, Ukraine

<sup>2</sup>Stepan Gzhytskyi National University of Veterinary Medicine and Biotechnologies, Lviv, Ukraine

### Article info

Received 10.06.2022

Received in revised form

11.07.2022

Accepted 12.07.2022

State Scientific and Research  
Institute of Laboratory Diagnostics  
and Veterinary and Sanitary  
Expertise, Donetsk Str., 30,  
Kyiv, 03151, Ukraine.  
Tel.: +38-067-171-15-58  
E-mail: olga.gaidei@gmail.com

Stepan Gzhytskyi National  
University of Veterinary Medicine  
and Biotechnologies Lviv,  
Pekarska Str., 50, Lviv,  
79010, Ukraine.  
Tel.: +38-068-136-20-54  
E-mail: bvh@ukr.net

*Shuliak, S. V., Chechet, O. M., Haidei, O. S., Dobrozhan, Yu. V., Kobysh, A. I., Bardyk, I. Yu., Krushelnyska, O. V., & Gutyj, B. V. (2022). Monitoring of the content of heavy metals in sunflower seeds and its processing products in Ukraine for 2018–2021. Scientific Messenger of Lviv National University of Veterinary Medicine and Biotechnologies. Series: Veterinary sciences, 24(107), 17–22. doi: 10.32718/nvlvet10703*

The article presents the results of research conducted at the State Research Institute of Laboratory Diagnostics and Veterinary-Sanitary Examination from 2018 to 2021 regarding the content of trace elements and toxic elements in sunflower seeds and their products of domestic production. During the studied period, 62 samples of sunflower seeds, 345 samples of sunflower meal, 289 samples of sunflower cake, and 68 samples of halva were analyzed. The preparation of samples was carried out by acid decomposition in nitric acid using a laboratory microwave system with closed-type autoclaves. The content of Lead, Cadmium, and Arsenic was determined by the method of atomic absorption spectrometry with electrothermal atomization and background correction with the Zeiman effect. The content of copper and zinc was determined by atomic absorption spectrometry with flame atomization with deuterium background correction. Mercury content – by the direct method of atomic absorption spectrometry. In all studied samples, the content of copper varied between 1.21–42.9 mg/kg, the content of zinc 17.7–75.40 mg/kg, the content of lead 0.011–1.121 mg/kg, the content of arsenic 0.0035–0.004 mg/kg, Mercury 0.005–0.051 mg/kg. The results of studies of sunflower seeds and halva for cadmium content were in the range of 0.052–0.234 mg/kg and 0.080–0.271 mg/kg. According to the obtained results, it was established that cadmium content exceeded the maximum permissible level value in five sunflower seeds and in eighteen halva samples, which is 2.7 % and 20.2 % of the total amount of the studied material. During the study of the content of inorganic pollutants Lead, Arsenic, Zinc, and Copper in sunflower seeds and halva, no violations of the maximum permissible levels were found. Regarding the analysis of meal and sunflower cake for the content of Cadmium, Lead, Arsenic, Copper, and Zinc, no violations of the MDR were detected. The contamination of seeds and halva with cadmium exceeded the legally permissible levels by 1.1 to 2.1 times. These results confirm literature data on the ability of sunflowers to accumulate cadmium, particularly in seeds. The analysis of the work demonstrates the need for more thorough and systematic control of sunflower raw materials both at the growing stage and in the process of harvesting, drying, and processing at various stages of feed and final product production.

**Key words:** sunflower seeds, sunflower meal, cake, halva, heavy metals, trace elements, monitoring.

## Моніторинг вмісту важких металів у насінні соняшника та продукції його переробки в Україні за 2018–2021 роки

С. В. Шуляк<sup>1</sup>, О. М. Чечет<sup>1</sup>, О. С. Гайдей<sup>1</sup>✉, Ю. В. Доброжан<sup>1</sup>, А. І. Кобиш<sup>1</sup>, І. Ю. Бардик<sup>1</sup>,  
О. В. Крушельницька<sup>2</sup>, Б. В. Гутий<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Державний науково-дослідний інститут з лабораторної діагностики та ветеринарно-санітарної експертизи, м. Київ, Україна

<sup>2</sup>Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій імені С. З. Гжицького, м. Львів, Україна

У статті наведено результати досліджень, які проводилися в Державному науково-дослідному інституті лабораторної діагностики та ветеринарно-санітарної експертизи у період з 2018 по 2021 рік щодо вмісту мікроелементів та токсичних елементів у насінні соняшнику та його продукції вітчизняного виробництва. За вивчений період проведено аналіз 62 зразків насіння соняшнику, 345 зразків соняшникового шроту, 289 зразків макухи соняшnikової та 68 зразків халви. Підготовка зразків проводилася методом кислотного розкладання в нітратній кислоті за допомогою лабораторної мікрохвильової системи з автоклавами закритого типу. Вміст Свинцю, Кадмію, Арсену визначався методом атомно-абсорбційної спектроскопії з електротермічною атомізацією та корекцією фону з ефектом Зеймана. Вміст Міді та Цинку визначався методом атомно-абсорбційної спектроскопії з подум'яною атомізацією із дейтерієвою корекцією фону. Вміст Ртуті – прямим методом атомно-абсорбційної спектроскопії. В усіх досліджених зразках вміст Міді коливався у межах 1,21–42,9 мг/кг, вміст Цинку 17,7–75,40 мг/кг, вміст Свинцю 0,011–1,121 мг/кг, вміст Арсену 0,0035–0,004 мг/кг, Ртуті 0,005–0,051 мг/кг. Результати досліджень насіння соняшнику та халви на вміст Кадмію перебували в межах 0,052–0,234 мг/кг і 0,080–0,271 мг/кг. Згідно з отриманими результатами встановлено, що вміст Кадмію перевищував значення максимально допустимого рівня у п'яти зразках насіння соняшnikового та у вісімнадцяти зразках халви, що становить 2,7 % та 20,2 % від загальної кількості дослідженого матеріалу. За дослідження вмісту неорганічних забруднювачів Свинцю, Арсену, Цинку та Міді у насінні соняшнику та халві порушень максимально допустимих рівнів не виявлено. Щодо дослідження шроту та макухи соняшnikової на вміст Кадмію, Свинцю, Арсену, Міді та Цинку, порушень МДР не було виявлено. Контамінація насіння та халви Кадмієм перевищувала допустимі законодавством рівні в 1,1 до 2,1 раза. Ці результати підтверджують літературні дані про здатність соняшника активно накопичувати Кадмію, зокрема в насінні. Аналіз проведеної роботи демонструє необхідність більш ретельного та систематичного контролю соняшnikової сировини як на стадії вирощування, так і в процесі заготівлі, сушіння та переробки на різних етапах виробництва кормів і кінцевого продукту.

**Ключові слова:** насіння соняшнику, шрот соняшnikовий, макуха, халва, важкі метали, мікроелементи, моніторинг.

## Вступ

Останні роки в Україні характеризуються істотним зростанням валового збору олійних культур. За даними Державної служби статистики України – валове виробництво соняшнику у 2017–2018 маркетинговому році склало 12,2 млн тонн, у 2018–2019 виробництво зросло до 14 млн тонн. Передумовами цього слугувало зростання посівних площ та зростання врожайності соняшнику до рівня 2,3 т/га (Razanov & Tkachuk, 2017).

Значну роль при виробництві продукції із соняшнику відіграє її якість і безпечність. Забруднення полів важкими металами створює передумови для накопичення їх в кінцевому продукті. Передусім антропогенний вплив людини призводить до забруднення довкілля ксенобіотиками, які є стійкими до впливу факторів зовнішнього середовища і відповідно володіють високою персистентністю, тому можуть долати довгі харчові ланцюги та призводити до порушення біологічних процесів і мікробіоценозів у ґрунті та водоймах. Основні ланки циркулювання токсичних речовин – це атмосфера, ґрунт, водойми, рослини, тварини (Zaritska et al., 2012; Bashchenko et al., 2020; Lavryshyn et al., 2020; Piven et al., 2020; Slobodian et al., 2021; Butsiak et al., 2021; Slobodian et al., 2022).

За даними наукових досліджень, чорноземи страждають від наслідків забруднення важкими металами значно менше, ніж підзолисті піщані і супіщані ґрунти. Дослідженнями встановлено, що під впливом важких металів ґрунти підкислюються, втрачають структуру, що погіршує їх мікробіологічну активність, водний і газовий режими й обумовлює бактеріостатичний ефект. Забруднення важкими металами соняшnikової продукції є надзвичайно важливою та актуальною проблемою сьогодення. Серед усього різноманіття важких металів найбільші обсяги їх надходження із засобами хімізації припадають на Свинець, Кад-

мій, Мідь та Цинк (Troitskyi & Dmytriieva, 2012; Dai et al., 2016; More et al., 2017; Balali-Mood et al., 2021; Wu et al., 2021).

Особливо активно соняшник депонує Кадмію, що пояснюється природною особливістю і тропністю його кореневої системи щодо Кадмію та здатністю “витягати” його з ґрунту. В ґрунт він потрапляє з фосфатами, які разом із нітратами є найпопулярнішими добривами в сільському господарстві.

Також джерелами надходження Кадмію і Свинцю в навколишнє середовище є промислові викиди, цементне, металургійне, гальванічне, нафтове, скляне виробництва. Однак одним із основних джерел забруднення ґрунтів є внесення фунгіцидів, мінеральних і органічних добрив, особливо суперфосфату, куди Кадмію входить як домішка.

Небезпека споживання продуктів із підвищеним вмістом важких металів характеризується здатністю їх до кумуляції, що спричиняє порушення біохімічних, цитологічних і фізіологічних процесів, інтоксикацій, патологій та загалом погіршує стан здоров'я і відтворюваність популяції живих організмів (Dai et al., 2016; More et al., 2017; Mulware, 2020; Zhou et al., 2020; Balali-Mood et al., 2021; Wu et al., 2021). Важкі метали характеризуються змінною валентністю, низькою розчинністю їх гідроксидів, а також високою здатністю утворювати катіони і комплексні сполуки та здатні накопичуватись у кістках і заміщати корисні мінеральні елементи – Магній, Кальцій та інші (Razanov, 2012; Bondareva et al., 2012; Furdichko, 2014; Chorna et al., 2018).

Тому для забезпечення агропродовольчого ринку України якісною продукцією із соняшнику пріоритетним завданням є моніторинг її за даними показниками.

### Мета дослідження

Метою досліджень було проаналізувати фактичний вміст важких металів в насінні соняшнику та продукції його переробки з різних регіонів України.

### Матеріал і методи досліджень

Випробування проводились у науково-дослідному хіміко-токсикологічному відділі Державного науково-дослідного інституту з лабораторної діагностики та ветеринарно-санітарної експертизи впродовж 2018–2021 рр.

Об'єктом дослідження були насіння соняшнику, шрот соняшниковий, макуха та халва.

Підготовка зразків для аналізу відбувалась з використанням методу кислотного розкладання у посудинах закритого типу під тиском мікрохвильової лабораторної системи “ETNOS Easy” (виробництво Milestone, Італія). Система забезпечує утримання зразку під час мікрохвильового розкладання в 69 % нітратній кислоті (Merk), перехід його у консистенцію розчину і подальше видалення парів розчинника.

Після охолодження гідролізати зразків кількісно переносили для подальшого розчинення деіонізованою водою (система Milli-Q, Millipore) до концентрації в межах калібрувальної кривої. Для побудови калібрувальних кривих використовували сертифіковані стандартні зразки (MERK) складу розчину іонів Кадмію, іонів Цинку, іонів Міді, іонів Свинцю, з атестованим значенням 1,0 мг/см<sup>3</sup>.

Вміст важких металів визначали атомно-абсорбційним методом на спектрометрі AA240Z фірми Varian оснащеним графітовою пічкою для електротермічної атомізації зразка з ефектом Зеймана, Varian AA 55 (виробництво Австралія) з полум'яною атомізацією та дейтерієвою корекцією фону та Thermo Solar з електротермічною атомізацією та корекцією Зеймана.

### Результати та їх обговорення

Для досліджень було відібрано зразки насіння, шроту, макухи соняшnikової культури в різних господарствах України та проведено лабораторні дослідження на вміст найпоширеніших важких металів (рис. 1).

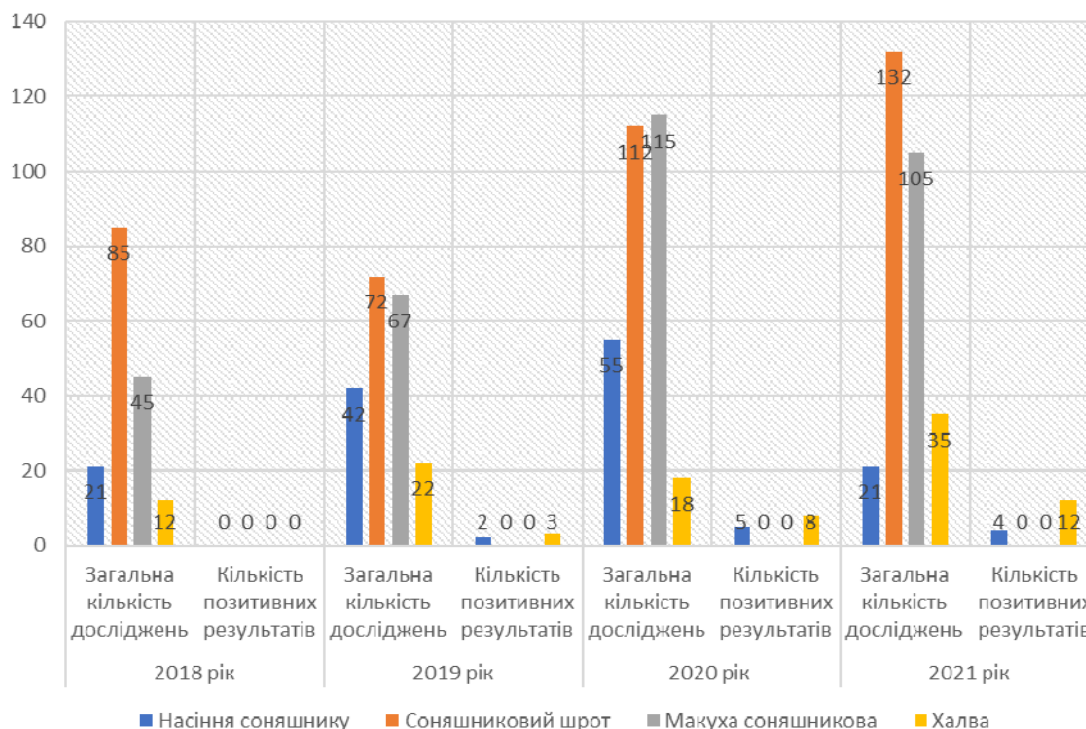


Рис. 1. Графічний аналіз проведених досліджень у період з 2018 по 2021 рр.

У роботі наведені дані за результатами визначення вмісту Міді, Цинку, Кадмію, Свинцю, Арсену, Ртуті 2596 зразків соняшnikової продукції. Найбільшу кількість зразків – 76,6 % та 12,7 % від загальнодосліджених становив соняшnikовий шрот (1990 зразків) та макухи (332 зразки), а також 6,9 % насіння соняшnikу (180 зразків) та 3,6 % халви (94 зразки), що надійшли протягом 2018–2021 року (табл. 1).

Аналіз забруднення важкими металами соняшnikової продукції показав, що концентрація Свинцю була в межах ГДК. Найбільший вміст Свинцю визначали у шроті соняшnikовому та халві – 1,121 та

0,567 мг/кг, найменший – у насінні соняшnikу та макусі становив 0,011 і 0,035 мг/кг (табл. 2).

Концентрація міді була в межах ГДК у всіх досліджуваних продуктах. При цьому найвища концентрація Міді була виявлена в шроті соняшnikовому і становила в середньому 2,15–42,9 мг/кг. Найменший вміст Міді фіксували у насінні соняшnikу, який коливався у діапазоні 1,21–7,25 мг/кг. Для макухи соняшnikової та халви відсутні регламентовані норми щодо Міді та Цинку, тому дані показники в цих продуктах не визначались.

**Таблиця 1**

Статистичний аналіз кількості проведених досліджень на вміст токсичних елементів у продукції соняшнику та кількості позитивних результатів за 2018–2021 рр.

Досліджуваний матеріал	2018 рік		2019 рік		2020 рік		2021 рік	
	Загальна кількість досліджень	Кількість позитивних результатів	Загальна кількість досліджень	Кількість позитивних результатів	Загальна кількість досліджень	Кількість позитивних результатів	Загальна кількість досліджень	Кількість позитивних результатів
Насіння соняшнику	21	-	42	2	55	2	58	1
Соняшниковий шрот	420	-	402	-	512	-	656	-
Макуха соняшникова	45	-	67	-	115	-	105	-
Халва	12	-	18	2	22	5	35	12
Всього								

Примітка: \* – дані отримані з 04.01.18 по 31.12.2021 р.

**Таблиця 2**

Аналіз забруднення важкими металами соняшникової продукції

Досліджуваний продукт	Насіння соняшнику		Соняшниковий шрот		Макуха соняшникова		Халва	
	Фактичні значення	МДР	Фактичні значення	МДР	Фактичні значення	МДР	Фактичні значення	МДР
Метали								
Свинець, мг/кг	0,011–0,235	0,5	0,012–1,121	1,5	0,015–0,035	0,5	0,011–0,567	1,0
Арсен, мг/кг	0,005–0,088	0,2	0,005–0,042	0,3	0,020–0,584	2,0	0,008–0,340	0,5
Кадмій, мг/кг	0,052–0,234	0,1	0,008–0,150	0,5	0,005–0,089	0,1	0,080–0,271	0,1
Ртуть, мг/кг	0,005–0,012	0,03	0,005–0,051	0,1	0,005–0,015	0,02	0,005–0,008	0,01
Мідь, мг/кг	1,21–7,25	10,0	2,15–42,9	70,0	-	-	-	-
Цинк, мг/кг	11,5–41,82	50,0	15,47–75,40	150,0	-	-	-	-

Концентрація Цинку в усіх продуктах соняшнику була нижчою за межу максимально допустимого рівня для даного показника. Фактичний вміст Цинку у насінні соняшнику становив 11,5–41,82 мг/кг, у шроті 15,47–75,40 мг/кг.

Вміст Арсену і Ртуті в усіх досліджуваних зразках був у мінімальних концентраціях від 0,005 до 0,340 мг/кг та в деяких випадках становив менше за межу визначення методу (0,010 мг/кг та 0,005 мг/кг).

Концентрація Кадмію значно перевищувала максимально допустимі рівні у 5 зразках насіння соняшникового та у 19 зразках халви, що становить 2,7 % та 20,2 % від загальної кількості дослідженого матеріалу. Фактичний вміст Кадмію у насінні соняшнику та халви був у межах 0,052–0,234 мг/кг і 0,080–0,271 мг/кг, що у 0,56 та 1,4 раза перевищує ГДК. Вміст Кадмію у шроті та макусі соняшниковій не перевищувала ГДК та становив 0,005–0,089 мг/кг і 0,080–0,271 мг/кг. Підвищений вміст Кадмію вказує на незбалансованість надходження поживних речовин у ґрунт та високу ймовірність забруднення як виробничої продукції, так і ґрунту токсикантами, що містяться у фосфорно-калійних мінеральних добривах.

На перехід Кадмію з ґрунту в рослини та інтенсивність накопичення токсичних речовин у соняшниковій продукції впливають антропогенні фактори, агрохімічні властивості ґрунту, частота внесення добрив та біологічні особливості рослин.

### Висновки

Аналіз вмісту важких металів у продукції соняшника свідчить про накопичення Кадмію у насінні та халві соняшниковій в концентраціях, значно вищих за

ГДК, що є небезпечним для подальшого використання його для продовольчих і кормових цілей. Така картина обумовлена зростаючим застосування мінеральних добрив, які є потужним джерелом забруднення ґрунтів важкими металами, а також антропогенним впливом людини. Токсичне навантаження на екосистему призводить до порушення безпеки харчового ланцюга. Це створює передумови накопичення цих токсикантів у його продукції, а саме насінні. Результати аналізу досліджень протягом 2018–2021 рр. демонструють перевищення максимально допустимих рівнів Кадмію саме в ядрі соняшнику на відміну від шроту та макухи соняшникової, що здебільшого складається із лушпиння та відходів соняшникової продукції. Контамінація Кадмієм насіння соняшнику становить загрозу для споживачів такої продукції. Тому на національному рівні дуже важливим є мінімізувати ризики техногенного впливу на екосистему. Одним із вирішальних заходів гарантування продовольчої безпеки країни є ефективний контроль за виробництвом та імпортом безпечних кормів і харчових продуктів.

*Перспективи подальших досліджень.* З огляду на викладені результати, постає чітке розуміння необхідності проведення досліджень вмісту Кадмію в олії соняшниковій, оскільки згідно з Наказом МОЗ № 368 від 13.05.2013 р. Про затвердження Державних гігієнічних правил і норм “Регламент максимальних рівнів окремих забруднюючих речовин у харчових продуктах” даний показник відсутній.

### Відомості про конфлікт інтересів

Автори стверджують про відсутність конфлікту інтересів.



## References

- Balali-Mood, M., Naseri, K., Tahergorabi, Z., Khazdair, M. R., & Sadeghi, M. (2021). Toxic Mechanisms of Five Heavy Metals: Mercury, Lead, Chromium, Cadmium, and Arsenic. *Front. Pharmacol.*, 12, 643972. DOI: 10.3389/fphar.2021.643972.
- Bashchenko, M. I., Boiko, O. V., Honchar, O. F., Gutyj, B. V., Lesyk, Y. V., Ostapyuk, A. Y., Kovalchuk, I. I., & Leskiv, Kh. Ya. (2020). The effect of milk thistle, metiphen, and silimevit on the protein-synthesizing function of the liver of laying hens in experimental chronic cadmium toxicosis. *Ukrainian Journal of Ecology*, 10(6), 164–168. DOI: 10.15421/2020\_276.
- Bondareva, O. B., Konovalenko, L. I., & Milihula, O. M. (2012). Mhtratsiia ta nakopychennia svyntsiu i kadmiu u grunti i roslynakh pid vplyvom dobryv. *Ahroekolohichniy zhurnal*, 3, 20–23 (in Ukrainian).
- Butsiak, H. A., Butsiak, V. I., Gutyj, B. V., Kalyn, B. M., Muzyka, L. I., Stadnytska, O. I., Luchyn, I. S., Rozputnii, O. I., Kachan, L. M., Melnichenko, Yu. O., Sliusarenko, S. V., Bilkevich, V. V., & Leskiv, K. Y. (2021). Migration of mobile forms of heavy metals into the vegetative mass of plants under local human-caused load. *Ukrainian Journal of Ecology*, 11(1), 239–343. DOI: 10.15421/2021\_50.
- Chorna, V. I., Voroshylova, N. V., & Syrovatko, V. O. (2018). Rozpodil kadmiu v hruntakh Dnipropetrovskoi oblasti ta yoho akumulatsiia v produktsii roslynnytstva. *Ukrainian Journal of Ecology*, 8(1), 910–917. DOI: 10.15421/2018\_293.
- Dai, S. Y., Jones, B., Lee, K.-M., Li, W., Post, L., & Herrman, T. J. (2016). Heavy Metal Contamination of Animal Feed in Texas. *Journal of Regulatory Science*, 4(1), 21–32. URL: <https://regsci-ojs-tamu.tdl.org/regsci/article/view/32/29>.
- Furdichko, O. I. (2014). Ecological bases of agrosphere balanced development in the context of European integration of Ukraine. Kyiv: DIA (in Ukrainian).
- Grishko, B.M., Syschikov, D.V., Piskova, O. M. (2012). Heavy metals: input into soils, translocation in plants and environmental hazards. NAS of Ukraine, Krivoriizh. Botanical Garden, Soil Scientists and Agrochemists Community of Ukraine, Community of Plant Physiologists of Ukraine. Donetsk: Donbass (in Ukrainian).
- Iehorov, T. M. (2014). Fonovyi umist vazhkykh metaliv yak ekolohichna kharakterystyka hruntiv Lisostepu. *Ahroekolohichniy zhurnal*, 1, 28–34. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/agrog\\_2014\\_1\\_6](http://nbuv.gov.ua/UJRN/agrog_2014_1_6) (in Ukrainian).
- Lavryshyn, Y. Y., Gutyj, B. V., Leskiv, K. Y., Hariv, I. I., Yevtukh, L. H., & Shnaider, V. L. (2020). Influence of cadmium on the cellular part of the immune system of young cattle. *Ukrainian Journal of Veterinary and Agricultural Sciences*, 3(2), 47–52. DOI: 10.32718/ujvas3-2.08.
- More, A. F., Spaulding, N. E., Bohleber, P., Handley, M. J., Hoffmann, H., Korotkikh, E. V., & Mayewski, P. A. (2017). Next-generation ice core technology reveals true minimum natural levels of lead (Pb) in the atmosphere: Insights from the Black Death. *GeoHealth*, 1(4), 211–219. DOI: 10.1002/2017GH000064.
- Mulware, S. J. (2020). Toxicity of Heavy Metals, A Subject In Review. *International Journal of Recent Research in Physics and Chemical Sciences*, 6(2), 30–43. URL: <https://www.paperpublications.org/upload/book/TOXICITY%20OF%20HEAVY%20METALS-1476.pdf>.
- Nicholson, F. A., Chambers, B. J., Williams, J. R., & Unwin, R. J. (1999). Heavy metal contents of livestock feeds and animal manures in England and Wales. *Bioresource Technology*, 70(1), 23–31. DOI: 10.1016/S0960-8524(99)00017-6.
- Piven, O. T., Khimych, M. S., Salata, V. Z., Gutyj, B. V., Naidich, O. V., Skrypka, H. A., Koreneva, Z. B., Dvylyuk, I. V., Gorobey, O. M., Rud, V. O. (2020). Contamination of heavy metals and radionuclides in the honey with different production origin. *Ukrainian Journal of Ecology*, 10(2), 405–409. DOI: 10.15421/2020\_117.
- Razanov, S. F. (2012). Znyzhennia vazhkykh metaliv v roslynakh ta zhyvykh orhanizmach. *Zbirnyk naukovykh prats VNAU*, 75–79 (in Ukrainian).
- Razanov, S. F., & Tkachuk, O. P. (2017). Intensyvna khimizatsiia zemlerobstva – yak peredumova zabrudnennia zernovoi produktsii vazhkykh metalamy. *Zbirnyk naukovykh prats “Tekhnolohiia vyrobnytstva i pererobky produktsii tvarynnytstva”*, 1-2(134), 70–75. URL: <http://socrates.vsau.org/repository/card.php?lang=uk&id=19020> (in Ukrainian).
- Slobodian, S. O., Gutyj, B. V., Shalovylo, S. H., Holovach, P. I., Pavliv, O. V., Kalyn, B. M., Kurtyak, B. M., Hachak, Yu. R., Martyshuk, T. V., Demus, N. V., & Shnaider, V. L. (2022). Influence of “Metisevit Plus” feed additive on morphological and biochemical parameters of bull blood under conditions of lead-cadmium loading. *Scientific Messenger of Lviv National University of Veterinary Medicine and Biotechnologies. Series: Veterinary sciences*, 24(106), 54–61. DOI: 10.32718/nvlvet10609.
- Slobodian, S. O., Gutyj, B. V., Darmohray, L. M., & Povoznikov, M. G. (2021). Antioxidant status of the organisms of young bulls in the conditions of lead-cadmium load and effect of correcting factors. *Regulatory Mechanisms in Biosystems*, 12(2), 315–320. DOI: 10.15421/022142.
- Troitskyi, O. M., & Dmytriieva, L. A. (2012). Mhtratsiia vazhkykh metaliv u lantsi «grunt-roslyny» v ahrolandshaftakh stepu Ukrainy. Mykolaiv: Naukovi pratsi. *Ekolohiia*, 167(179), 37–40 (in Ukrainian).
- Wu, Q., Hu, W., Wang, H., Liu, P., Wang, X., & Huang, B. (2021). Spatial distribution, ecological risk and sources of heavy metals in soils from a typical economic development area, Southeastern China. *Science of the Total Environment*, 780, 146557. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2021.146557.
- Zaritska, Y., Biront, N., & Galaburda, A. (2021). Monitoring of microelements and inorganic pollutants in feeds and feed raw materials of domestic production 2019 year. *Scientific and Technical Bulletin of State Scientific Research Control Institute of Veterinary Medical Products and Fodder Additives and Institute of Animal Biology*, 22(2), 136–140. DOI: 10.36359/scivp.2021-22-2.16.

Zhou, J., Du, B., Liu, H., Cui, H., Zhang, W., Fan, X., ...  
Zhou, J. (2020). The bioavailability and contribution  
of the newly deposited heavy metals (copper and lead)

from atmosphere to rice (*Oryza sativa* L.). *Journal of  
Hazardous Materials*, 384, 121285.  
DOI: 10.1016/j.jhazmat.2019.121285.