

УДК 504.05:633.854.78(477.4+292.485)

## ІНТЕНСИВНІСТЬ НАКОПИЧЕННЯ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ НАСІННЯМ ТА ШРОТОМ СОНЯШНИКУ

Г. Гуцол, к. с.-г. н.

ORCID ID: 0000-0001-6327-6555

О. Мазур, аспірантка

ORCID ID: 0000-0002-1763-7548

Вінницький національний аграрний університет

<https://doi.org/10.31734/agronomy2023.27.041>

### Гуцол Г., Мазур О. Інтенсивність накопичення важких металів насінням та шротом соняшнику

Сьогодення показує, що соняшник залишається одним із прибуткових продуктів на внутрішньому ринку, який, за рахунок власного виробництва, насичується повністю. Родючість ґрунтів Вінниччини дозволяє вирощувати соняшник, а широкий спектр застосування його сприяє поступовому збільшенню посівних площ.

Зростання посівних площ соняшнику в Україні супроводжується збільшенням норм внесення мінеральних добрив та пестицидів і призводить до підвищення ризику накопичення токсичних речовин, зокрема важких металів, у його насінні та продуктах переробки.

Досліджено вміст токсичних речовин у ґрунті при вирощуванні соняшнику. Порівняно вміст важких металів свинцю, кадмію, міді та цинку в насінні й шроті соняшнику з їх вмістом у ґрунті. Зіставлено отримані показники з гранично допустимими концентраціями. Розраховано коефіцієнти накопичення важких металів свинцю, кадмію, міді та цинку насінням соняшнику. Обчислено величини переходу важких металів з ґрунту в насіння соняшнику та соняшниковий шрот.

Серед хімічних токсикантів ґрунту, які потенційно можуть накопичуватись у насінні соняшнику та його шроті, найбільшу небезпеку становлять свинець, мідь, цинк, кадмій, цезій та кобальт. Водночас ртуть, молібден, бор та залізо за наявного вмісту в досліджуваному ґрунті не становлять небезпеки. За фактичного рівня забруднення ґрунту рухомими формами свинцю, кадмію, міді та цинку в межах 0,13–0,26 ГДК, їх вміст у насінні соняшнику становив 0,11–0,17 ГДК. У соняшниковому шроті вміст досліджуваних важких металів відносно насіння соняшнику найбільше зріс: міді – у 2,9 раза, свинцю – у 1,49 раза, кадмію – у 1,45 раза, цинку – у 1,43 раза. Проте фактична частка такого вмісту важких металів щодо гранично допустимої концентрації становила 0,03–0,09 ГДК. Найвищий коефіцієнт накопичення важких металів з ґрунту в насінні соняшнику встановлений за цинком – 1,81, та міддю – 1,71, тоді як за свинцем та кадмієм він становив відповідно 0,06 та 0,12.

**Ключові слова:** важкі метали, соняшник, вміст, насіння, шрот, ґрунт, концентрація, забруднення, моніторинг, небезпека, сірий лісовий ґрунт.

### Hutsol H., Mazur O. Intensity of the heavy metals accumulation by sunflower seeds and meal

The current situation shows that sunflower is still one of the most profitable products at the domestic market, which is fully saturated by its own production. The fertility of soil in Vinnytsia region provide favorable conditions for growing sunflower, and its wide range of use contributes to a gradual increase in the area under sunflower cultivation.

The growth of sunflower acreage in Ukraine is accompanied by an increase in the application rates of mineral fertilizers and pesticides and leads to the higher risk of accumulation of toxic substances, in particular heavy metals, in its seeds and sunflower processing products.

The content of toxic substances in the soil during sunflower cultivation was investigated. The authors of the research compared the content of heavy metals of lead, cadmium, copper and zinc in sunflower seeds and meal with their content in the soil. The obtained indicators were compared with the maximum permissible concentrations. The accumulation coefficients of heavy metals of lead, cadmium, copper and zinc by sunflower seeds were calculated. The amounts of heavy metal transfer from the soil to sunflower seeds and sunflower meal were calculated.

Among the soil chemical toxicants that can be potentially accumulated in sunflower seeds and sunflower meal, the most dangerous are lead, copper, zinc, cadmium, cesium, and cobalt. At the same time, the amount of mercury, molybdenum, boron and iron in the studied soil does not pose a danger. At the actual level of soil contamination with mobile forms of lead, cadmium, copper and zinc within 0.13–0.26 MPC, their content in sunflower seeds was 0.11–0.17 MPC. In sunflower meal, the content of studied heavy metals more increased as compared to sunflower seeds, particularly copper – 2.9 times, lead – 1.49 times, cadmium – 1.45 times, zinc – 1.43 times. However, the actual share of such heavy metals was 0.03–0.09 MPC in relation to the maximum permissible concentration. The highest coefficient of accumulation of the heavy metals by sunflower seeds from the soil was marked for zinc – 1.81 and copper – 1.71, while for lead and cadmium it was 0.06 and 0.12, respectively.

**Key words:** heavy metals, sunflower, content, seeds, meal, soil, concentration, pollution, monitoring, hazard, grey forest soil.

**Постановка проблеми.** Останніми роками в Україні спостерігається зростання як посівних площ, так і валових зборів основної

олійної культури – соняшнику. Причинами цього є висока реалізаційна ціна насіння, великий експортний потенціал культури та досить

ощадлива технологія вирощування соняшнику. Проте зростання посівних площ під культурою йде врозріз із екологічно безпечними принципами вирощування культури, коли соняшник можна повертати на попереднє місце не раніше, ніж через сім років. За частішого повернення соняшнику на попереднє місце вирощування зростає ризик не тільки пересушення ґрунту, а й накопичення шкідників, хвороб, бур'янів, вичерпування поживних речовин, що призводить до зниження урожайності культури. Тому за таких умов посилюється роль мінеральних добрив і синтетичних пестицидів, норми внесення яких суттєво зростають. А це може призвести до накопичення токсичних речовин у насінні та продуктах його переробки [5].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** При вирощуванні насіння соняшнику та виробництві продукції з нього в умовах зростаючого попиту на олійну продукцію актуалізуються вимоги екологічної безпеки як соняшникового насіння, так і продуктів його переробки. Визначальними чинниками забезпечення екологічної якості продукції є дотримання технологічних прийомів вирощування культури, зокрема норм і строків внесення мінеральних добрив та пестицидів, дотримання вимог сівозміни [3].

Надходження до посівів соняшнику важких металів з добривами створює передумови їх акумулювання в насінні та міграції до продуктів його переробки. Серед групи важких металів сьогодні найбільші обсяги їх надходження до ґрунту та рослинницької продукції спостерігаються за свинцем, кадмієм, міддю та цинком. Саме ці елементи містяться у найпоширеніших мінеральних добривах, що застосовуються в посівах соняшнику, а потужна вегетативна маса і коренева система культури та тривалий період вегетації зумовлюють посилене поглинання цих токсикантів з ґрунту і акумулювання у рослинах [7].

Серед зазначених важких металів особливе місце належить кадмію, який спроможний особливо інтенсивно поглинатися та накопичуватися рослинами соняшнику через індивідуальні фізіологічні особливості культури акумулювати кадмій у значно вищих концентраціях, ніж інші токсиканти [4].

Серед інших джерел надходження важких металів до ґрунту, крім мінеральних добрив і пестицидів, є викиди автотранспорту, промислових підприємств, вплив звалищ твердих відходів та іншої господарської діяльності. Проте в умовах аграрного Вінницького регіону основна небезпека від важких металів для сільськогосподарських посівів загалом та соняшнику зокрема надходить від високих та незбалансованих норм мінеральних добрив, пестицидів та вапнякових матеріалів [6].

Небезпека споживання соняшникової продукції з підвищеним вмістом важких металів визначається їх потужним акумуляційним ефектом, виникненням біохімічних, цитологічних, фізіологічних порушень функціонування організму, інтоксикацією, виникненням патологій, захворювань, ослабленням організму, порушенням відтворювальних функцій [10].

Унаслідок змінної валентності важких металів, низької розчинності, високої здатності утворювати нові катіони й комплексні сполуки в організмі вони можуть заміщувати корисні речовини: магній та кальцій, і накопичуватися в кістках. Великі обсяги споживання олійновмісної продукції можуть спричинити негативні наслідки як у реальному часі, так і у віддаленій перспективі, тож питання моніторингу вмісту важких металів у насінні соняшнику та продуктах його переробки надзвичайно актуальне [8; 9].

**Постановка завдання.** Наше завдання – дослідити вміст токсичних речовин у ґрунті при вирощуванні соняшнику. Дослідження проводили впродовж 2021–2022 рр. у ФГ «Зоря Василівки» села Василівка Вінницького району Вінницької області. Соняшник вирощували на сірих лісових середньосуглинкових ґрунтах за загальноприйнятою технологією. Попередник соняшнику – кукурудза. Вносили мінеральне добриво нітроамофоску під посів соняшнику в нормі  $N_{45}P_{45}K_{45}$  у передпосівну культивуацію розкидним способом. Догляд за посівами передбачав міжрядний механічний обробіток, одноразове внесення гербіциду, фунгіциду та проведення десикації у передзбиральний період. Обмолочували соняшник комбайновим способом.

Соняшниковий шрот, як вторинний продукт при виробництві рослинних олій, одержали у приватній олійні за схемою форпресування-екстрагування з попередньо обробленого насіння соняшнику із застосуванням волого-теплого оброблення.

У процесі лабораторних досліджень відбирали проби ґрунту, де вирощували соняшник по діагоналі поля. Лабораторний аналіз вмісту токсикантів у ґрунті за вмістом рухомих форм свинцю, кадмію, міді, цинку, ртуті, заліза, кобальту, молібдену, бору та цезію проводили у Житомирській філії Державної установи «Держґрунтохорона» (Інститут охорони ґрунтів України) за стандартними методиками [1]. Отримані показники порівнювали з гранично допустимими концентраціями.

Лабораторні аналізи на вміст важких металів свинцю, кадмію, міді та цинку у насінні соняшнику та його шроті проводили у Житомирській філії Державної установи «Держґрунтохорона» (Інститут охорони ґрунтів України) за стандартними методиками [2].

Одержані дані порівнювали з нормативами гранично допустимої концентрації, а також розраховували коефіцієнт накопичення важких металів у насінні сояшнику відношенням фактичного їх вмісту в насінні до вмісту рухомих форм у ґрунті.

**Виклад основного матеріалу.** На накопичення токсичних речовин, зокрема важких металів у насінні сояшнику та сояшниковому шроті, впливає їх вміст у ґрунті, на якому вирощували сояшник. Усі токсиканти містилися у ґрунті в концентраціях їхніх рухомих форм,

значно нижчих за гранично допустимі концентрації. Зокрема фактична концентрація рухомих форм свинцю у ґрунті становила 0,26 ГДК, кадмію – 0,13 ГДК, міді – 0,24 ГДК, цинку – 0,15 ГДК, що є безпечним рівнем. Серед інших забруднювачів ґрунту, які можуть потенційно потрапляти і накопичуватись у насінні сояшнику, є радіоактивний цезій, частка якого становить 0,31 ГДК, та кобальт з часткою 0,2 ГДК. Небезпеки від вмісту у ґрунті рухомих форм ртуті, молібдену, бору та заліза практично немає, оскільки їх вміст дуже низький (табл. 1).

Таблиця 1

**Вміст рухомих форм токсикантів у ґрунті за вирощування сояшнику**

Токсикант	Фактичний вміст	Гранично-допустима концентрація	Частка ГДК
Свинець, мг/кг	1,57	6,0	0,26
Кадмій, мг/кг	0,09	0,7	0,13
Мідь, мг/кг	0,73	3,0	0,24
Цинк, мг/кг	3,37	23,0	0,15
Ртуть, мг/кг	0,005	2,1	0,002
Залізо, мг/кг	57,18	-	-
Кобальт, мг/кг	1,01	5,0	0,20
Молібден, мг/кг	0,12	10	0,01
Бор, мг/кг	1,62	30*	0,05
Цезій, Кі/км <sup>2</sup>	0,31	1,0	0,31

\*Примітка: валовий вміст.

Оскільки потенційна небезпека потрапляння у насіння сояшнику з ґрунту можлива лише від свинцю, кадмію, міді та цинку, то подальший аналіз вмісту токсикантів у насінні та сояшниковому шроті проводили лише із зазначеними елементами. Наші дослідження показали, що найвища частка від гранично

допустимої концентрації у насінні сояшнику спостерігається за вмістом свинцю – 0,17 ГДК, за вмістом міді – 0,13 ГДК, цинку – 0,12 ГДК, кадмію – 0,11 ГДК. Це досить низький вміст зазначених токсикантів у насінні сояшнику, що гарантує екологічну безпеку насіння за цими важкими металами (табл. 2).

Таблиця 2

**Вміст рухомих форм важких металів у насінні сояшнику, мг/кг**

Важкий метал	Фактичний вміст	Гранично допустима концентрація	Частка ГДК
Свинець	0,087	0,5	0,17
Кадмій	0,011	0,1	0,11
Мідь	1,25	10,0	0,13
Цинк	6,10	50,0	0,12

У продукті переробки насіння соняшнику – шроті, фактичний вміст досліджуваних важких металів значно вищий, ніж у насінні, але, відповідно, значення гранично допустимої концентрації важких металів також вище. Це

сприяло одержанню незначної частки вмісту важких металів у соняшниковому шроті щодо ГДК. Зокрема найвищу частку ГДК виявили за свинцем – 0,09 ГДК, за міддю і цинком – по 0,05 ГДК, а за кадмієм – 0,03 ГДК (табл. 3).

Таблиця 3

**Вміст рухомих форм важких металів у соняшниковому шроті, мг/кг**

Важкий метал	Фактичний вміст	Гранично допустима концентрація	Частка ГДК
Свинець	0,13	1,5	0,09
Кадмій	0,016	0,5	0,03
Мідь	3,63	70,0	0,05
Цинк	8,75	150,0	0,05

Отже, встановлено, що, незважаючи на те, що вміст важких металів у соняшниковому шроті істотно зріс порівняно із їхнім вмістом у насінні соняшнику, зросла і їх гранично допустима концентрація, що забезпечує одержану продукцію.

Зокрема щодо насіння соняшнику найбільше зріс у соняшниковому шроті вміст міді – у 2,9 раза, свинцю – у 1,49 раза, кадмію – у 1,45 раза, цинку – у 1,43 раза (табл. 4).

Таблиця 4

**Накопичення рухомих форм важких металів соняшниковим шротом з насіння соняшнику**

Важкий метал	Інтенсивність накопичення
Свинець	1,49
Кадмій	1,45
Мідь	2,90
Цинк	1,43

Водночас гранично допустима концентрація свинцю і цинку в соняшниковому шроті порівняно із насінням соняшнику, зросла у три рази, кадмію – у 2,9 рази, міді – у 7 разів.

Також ми розрахували коефіцієнт накопичення досліджуваних важких металів насінням соняшнику з ґрунту. Найвищий коефі-

цієнт накопичення встановлений за цинком – 1,81, та міддю – 1,71. Це вказує на те, що мідь та цинк поглинаються з ґрунту насінням соняшнику більш інтенсивно, ніж фактичний вміст цих металів у ґрунті. Тому при збільшенні вмісту у ґрунті рухомих форм міді та цинку зростатиме їх концентрація у насінні соняшнику (табл. 5).

Таблиця 5

**Коефіцієнт накопичення рухомих форм важких металів насінням соняшнику**

Важкий метал	Коефіцієнт накопичення
Свинець	0,06
Кадмій	0,12
Мідь	1,71
Цинк	1,81

Водночас коефіцієнт накопичення свинцю і кадмію насінням соняшнику значно менший за одиницю і становить відповідно 0,06 та 0,12. Це вказує на те, що накопичення свинцю та кадмію насінням соняшнику незначне: порівняно з їх фактичним вмістом у ґрунті він становив та становить значно меншу небезпеку, ніж мідь та цинк.

**Висновки.** Серед хімічних токсикантів ґрунту, які потенційно можуть накопичуватись у насінні соняшнику та його шроті, найбільшу небезпеку становлять свинець, мідь, цинк, кадмій, цезій та кобальт. Водночас ртуть, молібден, бор та залізо за наявного вмісту в досліджуваному ґрунті не становлять небезпеки. За фактичного рівня забруднення ґрунту рухомими формами свинцю, кадмію, міді та цинку в межах 0,13–0,26 ГДК їх вміст у насінні соняшнику становив 0,11–0,17 ГДК. У соняшниковому шроті вміст досліджуваних важких металів відносно насіння соняшнику найбільше зріс: міді – у 2,9 раза, свинцю – у 1,49 раза, кадмію – у 1,45 раза, цинку – у 1,43 раза. Проте фактична частка такого вмісту важких металів щодо гранично допустимої концентрації становила 0,03–0,09 ГДК. Найвищий коефіцієнт накопичення важких металів з ґрунту в насінні соняшнику встановлений за цинком – 1,81, та міддю – 1,71, тоді як за свинцем та кадмієм він становив відповідно 0,06 та 0,12.

#### Бібліографічний список

1. ДСТУ 4117:2007. Зерно та продукти його переробки. Визначення показників якості методом інфрачервоної спектроскопії (чинний від 01.08.2007 р.). Київ: Дочірнє підприємство ДАК «Хліб України» «Київський інститут хлібопродуктів», 2007. 7 с.
2. ДСТУ ISO 10381-1:2004. Якість ґрунту. Відбирання проб. Настанови щодо складання програм відбирання проб. [Чинний від 2006.04.01]. Київ: Держспоживстандарт України, 2006. Ч. 1. 36 с.
3. Кохан А. В., Лень О. І., Циліорик О. І. Наслідки насичення сівозмін соняшником. *Науково-технічний бюлетень Інституту олійних культур НААН*. 2016. № 23. С. 6.
4. Куць Т. В. Виробництво та переробка олійних культур в Україні. *Науковий вісник національного університету біоресурсів і природокористування України*. 2009. № 141. С. 156–161.
5. Мазур В. А., Ткачук О. П., Яковець Л. А. Екологічна безпека зернової та зернобобової продукції: монографія. Вінниця: Твори, 2020. 442 с.
6. Міхєєв В. Г., Молоков А. В. Продуктивність соняшнику залежно від строків сівби. *Вісник Харківського національного аграрного університету*. 2019. № 1. С. 57–65.
7. Ткаліч І. Д., Гирка А. Д., Бочевар О. В., Ткаліч Ю. І. Агротехнічні заходи підвищення урожайності насіння соняшника в умовах степу України. *Зернові культури*. 2018. Т. 2. № 1. С. 44–52.
8. Ткачук О. П., Шкатула Ю. М., Тітаренко О. М. Сільськогосподарська екологія: навч. посіб. Вінниця: ВНАУ, 2020. 542 с.
9. Тоцький В. М., Поляков О. І. Вплив мінеральних добрив на показники продуктивності та якості насіння гібридів соняшнику. *Науково-технічний бюлетень Інституту олійних культур НААН*. 2011. № 14. С. 232–233.
10. Шуляк С. В., Чечет О. М., Гайдей О. С., Доброжан Ю. В., Кобиш А. І. Моніторинг вмісту важких металів у насінні соняшника та продуктах його переробки в Україні за 2018–2021 роки. *Науковий вісник ЛНУВМБ імені С.З. Гжицького. Серія Ветеринарні науки*. 2022. Т. 24. № 107. С. 17–22.

Стаття надійшла 22.06.2023