

УДК 633.2:613.4(477)

<https://doi.org/10.31713/vs420258>

**Клименко М. О.** <sup>[1; ORCID ID: 0000-0003-0892-0648]</sup>,  
д.с.-г.н., професор,  
**Варжель О. В.** <sup>[1; ORCID ID: 0009-0007-0309-0733]</sup>,  
доктор філософії, старший викладач,  
**Рабешко Я. І.** <sup>[1; ORCID ID: 0009-0005-7262-9603]</sup>,  
аспірант

<sup>1</sup>Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне

## ПОРІВНЯЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ВМІСТУ МІКРОЕЛЕМЕНТІВ В СІНІ РІЗНОТРАВ'Я ВИРОЩЕНОГО НА РІЗНИХ ТИПАХ ҐРУНТІВ ЗОНИ ЛІСОСТЕПУ УКРАЇНИ

У статті здійснено порівняльну характеристику вмісту мікроелементів у сінні різнотрав'я вирощеного на різних типах ґрунтів зони Лісостепу.

Ґрунтовий покрив басейну річки представлений світло-сірими, темно-сірими опідзоленими легкосуглинковими та чорноземами опідзоленими легкосуглинковими ґрунтами, які сформувалися на лесах і характеризується: вмістом гумусу сірі-лісові від 2,1 до 2,4%, чорноземи від 2,8 до 3,1%, кислотністю сірих-лісових ґрунтах від 5,3 до 6,2%, чорноземах від 6,5 до 6,8% од. рН. Вміст азоту легкогідролізованого змінювався у межах від 92 до 140 мг/кг і від 137 до 154 мг/кг, рухомого фосфору від 183 до 210 мг/кг та 300 мг/кг, обмінного калію від 62 до 75 мг/кг та 148 мг/кг відповідно до типів досліджуваних ґрунтів.

Вміст досліджуваних мікроелементів у світло-сірих, темно-сірих і чорноземних ґрунтах у міру зростання їхньої кількості склав наступний ряд: кадмій < мідь < цинк < свинець. За рівнями забруднення мікроелементами досліджувані ґрунти оцінюються: за вмістом свинцю (1,5–2,2 мг/кг) як помірний; за вмістом цинку (5–9 мг/кг) як слабкий; за вмістом міді (1,0–1,9 мг/кг) як слабкий; за вмістом кадмію (0,2 мг/кг) як помірний.

Розраховані коефіцієнти шкідливості мікроелементів у досліджуваних ґрунтах були нижчими за гранично допустимі рівні 1,0 і коливались у межах: за свинцем 0,26–0,20; кадмієм 0,18–0,07; міддю 0,048–0,043; цинком 0,029–0,016.

Вміст мікроелементів у сінні з різнотрав'я у міру їх зростання склав наступний ряд: кадмій < свинець < мідь < цинк. У сінні вміст міді коливається у межах 1,38 мг/кг, 4,76 мг/кг, 3,51 мг/кг і не досягає оптимальних значень,

а вміст цинку досягає значень 19,73 мг/кг, 16,0 мг/кг, 19,21 мг/кг, що засвідчує про добру його якість для споживання тваринами. Величини коефіцієнтів біологічного поглинання важких металів з досліджуваних ґрунтів за свинцем змінювались у діапазоні 0,8–1,97, а за кадмієм 0,58–1,2, що свідчить про низьку здатність різнотрав'я до накопичення токсикантів. Значно вищу поглинальну здатність різнотрав'я засвідчило до міді 9,52–33,52 і цинку 23,36–53,36.

**Ключові слова:** мікроелементи; різнотрав'я; коефіцієнти шкідливості; світло-сірі, темно-сірі, лісові, чорноземи опідзолені ґрунти; коефіцієнти біологічного поглинання.

**Вступ.** Відомо, що між рослинами і середовищем їх росту і розвитку ґрунтом існує безперервний взаємозв'язок, зумовлений наявністю обміну речовин. Вищі рослини через кореневі системи здатні поглинати макро- і мікроелементи з ґрунтового розчину, або ґрунтових колоїдів. Для забезпечення оптимального живлення рослини поглинають з ґрунту переважно більшість із відомих хімічних елементів, однак найважливішими з них є до 25 елементів, а саме: азот, фосфор, калій, кальцій, сірка, магній, марганець, цинк, залізо, мідь, кобальт, бор, хром та інші.

Установлено, що орні землі зони Лісостепу України вважаються придатними для одержання екологічно безпечної сільськогосподарської продукції, яку використовують для виготовлення продуктів харчування, або відгодівлі худоби, якщо вміст в них рухомих форм мікроелементів відповідає (рівням) показникам забезпеченості: підвищеного вмісту міді 0,21–0,3 мг/кг, цинку 20–24 мг/кг нижня межа, а верхньою межею слід приймати високий вміст міді до 0,5 мг/кг; цинку 24 мг/кг, що вилучаються ацетатно-буферним розчином (рН = 4,8).

Виникає потреба встановлення залежності вмісту деяких мікроелементів в сіні з різнотрав'я від їх вмісту в орних землях зони Лісостепу.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** За даними публікацій науковців важкі метали і мікроелементи поглинаються в основному рослинами з ґрунту через кореневі системи, певним чином перерозподіляються по органам, а також компонентах біогеоценозу [1–3]. Коливання вмісту важких металів і мікроелементів у рослинах обумовлюється з одного боку індивідуальними особливостями рослин, а з іншого запасами рухомих їх сполук та окислювально-

відновними процесами у ґрунтах [4]. Найбільша кількість важких металів і мікроелементів надходить до ґрунтів з опадами та при внесенні органічних і мінеральних добрив [5] Luo et al., 2019. За даними досліджень Zhao et al., 2015 [6] підкислення ґрунту в межах рН = 6 супроводжується утворенням нерозчинних комплексів міді з фульвокислотами, що призводить до накопичення їх у ґрунтах до токсичних для біологічних систем рівнів. Численні дослідження засвідчують, що рівень токсичності ґрунтів, забруднених важкими металами і мікроелементами визначається як валовим їх вмістом, так і рухливими формами, які беруть активну участь у біогенній міграції [7] Khan et al., 2019.

Згідно з публікаціями [8; 9] Emam et al., 2021; Razanov et al., 2023, поява токсикантів (важких металів і надлишкового вмісту мікроелементів) часто (відбувається) відслідковується вздовж ланцюгів живлення, а саме: ґрунт – рослина – людина; ґрунт – рослина – тварина – людина. Накопичені у ланцюгах живлення важкі метали і мікроелементи понад ГДК знижують якісні характеристики та безпечність сировини, з якої виготовляють продукти харчування [10] Zhen et al., 2020.

Поряд з цим слід зазначити, що у сірих лісових і чорноземах опідзолених ґрунтах зони Лісостепу при агрохімічних обстеженнях виявляються масиви, поля, з низькими показниками вмісту важких металів і мікроелементів, зумовленого з одного боку кислотою реакцією ґрунтового розчину, а з іншого – низькою ємністю катіонного обміну та відсутністю надходження їх до ґрунтів з опадами та мінеральними добривами [11].

Нижчий за ГДК вміст важких металів і особливо мікроелементів у кислих ґрунтах з низьким вмістом гумусу обумовлює мале надходження їх до ланцюгів живлення ґрунт – рослина – людина і зниження якості і врожайності сільськогосподарських культур в тому числі і кормів для тваринництва [11].

У зв'язку з цим виникає потреба у вивченні рівня забруднення сірих лісових та чорноземів опідзолених ґрунтів важкими металами і мікроелементами та особливостей накопичення їх у ланцюгах живлення ґрунт – рослина.

**Мета роботи** полягала у проведенні порівняльної характеристики вмісту мікроелементів в сіні різнотрав'я вирощеного на різних типах ґрунтів зони Лісостепу. Досягнення мети передбачало вивчення наступних завдань: оцінити вміст мікроелементів у світло-сірих,

темно-сірих лісових чорноземних ґрунтах; визначити вміст мікроелементів в сні різнотрав'я вирощеного на цих ґрунтах; визначити коефіцієнти шкідливості і біологічного поглинання мікроелементів сіном з різнотрав'ям.

**Об'єкти дослідження** – процеси міграції мікроелементів з ґрунту до зеленої маси представленої різнотрав'ям з розподілом видів рослин: злаків 13%, бобових 2%, різнотрав'я 85%.

**Предмет досліджень** – показники вмісту мікроелементів свинцю, кадмію, міді, цинку в ґрунтах, в сні різнотрав'я, коефіцієнти шкідливості і біологічного поглинання мікроелементів.

**Методи і методики досліджень.** При проведенні досліджень використовувалися методи системного аналізу, порівнянь, узагальнень. Визначення вмісту мікроелементів у ґрунті і сні з різнотрав'я проводили за загальноприйнятими методиками у Рівненській філії державної установи Інституту охорони ґрунтів України. Вміст рухомих форм мікроелементів свинцю, кадмію, міді, цинку визначали в естрагуючому ацетатно-амонійному буферному розчині з рН = 4,8 атомно-абсорційним методом (ДСТУ 4770.9:2007; 4770.3:2007; 4770.6:2007; 4770.5:2007).

Коефіцієнт шкідливості мікроелементів визначали за формулою:

$$H = A/GDK, \quad (1)$$

де  $H$  – коефіцієнт шкідливості мікроелемента, од.;  $A$  – фактичний вміст мікроелемента в ґрунті, мг/кг;  $GDK$  – гранично-допустима концентрація мікроелемента згідно ДСТУ, мг/кг.

Коефіцієнт біологічного поглинання мікроелементів (КБП) визначали за формулою:

$$КБП = C_p/C_g, \quad (2)$$

де  $C_p$  – вміст мікроелемента в рослинницькій продукції, мг/кг;  $C_g$  – вміст мікроелемента у ґрунті, мг/кг.

**Результати досліджень.** Ґрунтовий покрив зони Лісостепу України представлений світло-сірими, темно-сірими опідзоленими легкосуглинковими та чорноземами опідзоленими легкосуглинковими ґрунтами, які характеризуються вмістом гумусу, а саме: у світло-сірих ґрунтах – від 2,1% до 2,4%; темно-сірих – від 2,3% до 2,4%; чорноземах опідзолених – від 2,8% до 3,1%. Кислотність ґрунтового розчину у світло-сірих ґрунтах коливається в межах рН від 5,3 до 5,9; темно-сірих – від 5,7 до 6,2; чорноземах опідзолених – від 6,5 до 6,8.

Вміст азоту, що легко гідролізується, у цих ґрунтах змінювався у діапазонах: у світло-сірих ґрунтах – від 115 до 140 мг/кг, темно-сірих – від 92 до 134 мг/кг, чорноземах опідзолених – від 137 до 154 мг/кг. Вміст рухомого фосфору у цих ґрунтах був значно вищий і досягав значень у світло-сірих і темно-сірих ґрунтах на рівні 210 і 183 мг/кг, а чорноземах опідзолених – 300 мг/кг. Вміст обмінного калію був значно нижчим і становив у світло-сірих ґрунтах величини лише 65–69 мг/кг, темно-сірих 62–75 мг/кг, а чорноземах опідзолених 101–148 мг/кг.

Для оцінювання стану ґрунтового покриву та якості сіна з різнотрав'я було проведено відбір проб ґрунту і різнотрав'я на земельних ділянках з традиційною системою землеробства у трьох населених пунктах трьох районів.

Порівняльний аналіз вмісту мікроелементів у верхніх шарах гумусових горизонтів світло-сірих, темно-сірих і чорноземних ґрунтах найвищу концентрацію свинцю і найменшу кадмію (табл. 1).

Таблиця 1

Вміст мікроелементів у ґрунтах зони Лісостепу України

I. Світло-сірі і сірі опідзолені легкосуглинкові ґрунти

(с. Орестів, Здолбунівський р-н)

Назва мікроелементів, мг/кг	Роки				Середнє
	2016	2017	2018	2019	
1 Свинець	1,62	1,52	1,61	1,56	1,58 ± 0,031
2 Кадмій	0,11	0,14	0,12	0,13	0,125 ± 0,003
3 Мідь	0,14	0,16	0,13	0,15	0,145 ± 0,0031
4 Цинк	0,54	0,48	0,52	0,47	0,502 ± 0,011

II. Темно-сірі опідзолені легкосуглинкові ґрунти

(с. Забороль, Рівненський р-н)

Назва мікроелементів, мг/кг	Роки				Середнє
	2016	2017	2018	2019	
1 Свинець	1,19	1,21	1,22	1,09	1,18 ± 0,026
2 Кадмій	0,11	0,11	0,10	0,11	0,108 ± 0,003
3 Мідь	0,12	0,17	0,14	0,14	0,142 ± 0,004
4 Цинк	0,67	0,71	0,61	0,61	0,67 ± 0,02

продовження табл. 1

 III. Чорноземи опідзолені слабо деградовані легкосуглинкові ґрунти  
(с. Оженіно, Острозький р-н)

Назва мікроелементів, мг/кг	Роки				Середнє
	2017	2018	2019	2020	
1 Свинець	1,37	1,31	1,33	1,21	1,31 ± 0,033
2 Кадмій	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10 ± 0,0026
3 Мідь	0,17	0,13	0,11	0,11	0,13 ± 0,0025
4 Цинк	0,28	0,36	0,39	0,40	0,36 ± 0,008

Як видно з табл. 1, вміст досліджуваних мікроелементів у світло-сірих, темно-сірих і чорноземних ґрунтах у міру зростання їхньої кількості склав наступний ряд: кадмій < мідь < цинк < свинець. Вміст мікроелементів у гумусному горизонті цих ґрунтів становив: свинцю у світло-сірих ґрунтах 1,58 мг/кг, темно-сірих 1,18 мг/кг, чорноземах 1,31 мг/кг; цинку – 0,502 мг/кг, 0,67 мг/кг, 0,36 мг/кг; міді – 0,145 мг/кг, 0,142 мг/кг, 0,13 мг/кг; кадмію – 0,125 мг/кг, 0,108 мг/кг, 0,10 мг/кг відповідно у цих ґрунтах. За рівнями забруднення мікроелементами досліджувані ґрунти оцінюються за свинцем (1,5–2,2 мг/кг) як помірний; за цинком (5–9 мг/кг) як слабкий; за міддю (1,0–1,9 мг/кг) як слабкий; за кадмієм (0,2 мг/кг) як помірний. За помірних і слабких рівнів вмісту мікроелементів у ґрунтах зони Лісостепу формується їх дефіцит для живлення сільськогосподарських культур.

Поряд з цим, ми вивчали коефіцієнт шкідливості важких металів і мікроелементів у світло-сірих, темно-сірих і чорноземах опідзолених ґрунтах (табл. 2).

Як видно з табл. 2, вміст важких металів і мікроелементів у досліджуваних ґрунтах не перевищував гранично допустимі концентрації (ГДК), які становили: Pb – 6,0 мг/кг, Cd – 0,7 мг/кг, Cu – 3,0 мг/кг, Zn – 23,0 мг/кг. Зокрема, у чорноземних опідзолених ґрунтах вміст свинцю був нижчим за ГДК у 4,58 рази; у світло-сірих у 3,8 рази. Вміст кадмію у чорноземах був нижчим за ГДК у 7 разів, а у світло-сірих ґрунтах у 3,8 рази. Вміст міді у цих ґрунтах був меншим у 23,1 і 20,7 рази, а за вмістом цинку у 63,9 і 45,8 рази відповідно. Коефіцієнти шкідливості (ризик) Pb, Cd, Cu і Zn у світло-сірих, темно-сірих і чорноземних ґрунтах були нижчими за граничні значення 1,0.

Найбільша різниця за вмістом важких металів Pb і Cd була встановлена у світло-сірих ґрунтах, а мікроелементів Cu і Zn у світло-

сірих і темно-сірих ґрунтах у порівнянні з чорноземними ґрунтами.

Таблиця 2

Коефіцієнти шкідливості мікроелементів  
( $M \pm m$ ,  $n=12$ )

	ГДК мг/кг	Світло-сірий опідзолений		Темно-сірий опідзолений		Чорнозем опідзолений	
		Вміст у ґрунті	Коефі- цієнт ризичу	Вміст у ґрунті	Коефі- цієнт ризичу	Вміст у ґрунті	Коефі- цієнт ризичу
Pb	6,0	1,58±0,031	0,263	1,18±0,026	0,197	1,31±0,033	0,218
Cd	0,7	0,125±0,003	0,178	0,108±0,003	0,154	0,10±0,0026	0,07
Cu	3,0	0,145±0,0031	0,048	0,142±0,004	0,047	0,13±0,0025	0,043
Zn	23,0	0,502±0,01	0,022	0,67±0,02	0,029	0,36±0,008	0,016

Дефіцит або нестача мікроелементів у ґрунтах буде впливати на поглинання їх рослинами та формування якості вирощеної продукції (табл. 3). Як видно з табл. 3, вміст досліджуваних мікроелементів у сіні з різнотрав'я вирощеного на світло-сірих, темно-сірих і чорноземних ґрунтах у міру зростання їхньої кількості склав наступний ряд: кадмій < свинець < мідь < цинк.

Таблиця 3

Вміст мікроелементів у сіні з різнотрав'я вирощеного у зоні Лісостепу  
I. На світло-сірих і сірих опідзолених легкосуглинкових  
ґрунтах (с. Орестів, Здолбунівський р-н)

Назва мікро- елементів, мг/кг	Роки				Середнє
	2016	2017	2018	2019	
1 Свинець	1,42	1,44	1,50	1,44	1,45 ± 0,04
2 Кадмій	0,08	0,06	0,06	0,09	0,072 ± 0,002
3 Мідь	1,52	1,30	1,31	1,59	1,38 ± 0,04
4 Цинк	18,73	19,0	19,04	22,14	19,73 ± 0,41

II. На темно-сірих опідзолених легкосуглинкових ґрунтах  
(с. Забороль, Рівненський р-н)

Назва мікро- елементів, мг/кг	Роки				Середнє
	2016	2017	2018	2019	
1 Свинець	2,43	2,28	2,31	2,27	2,32 ± 0,046
2 Кадмій	0,13	0,11	0,12	0,13	0,122 ± 0,003
3 Мідь	4,07	5,0	4,96	5,0	4,76 ± 0,14
4 Цинк	15,91	16,0	16,02	16,07	16,0 ± 0,32

продовження табл. 3

 III. На чорноземах опідзолених слабо деградованих  
легкосуглинкових ґрунтах (с. Оженіно, Острозький р-н)

Назва мікро- елементів мг/кг	Роки				Середнє
	2017	2018	2019	2020	
1 Свинець	0,98	1,0	1,09	1,12	1,05 ± 0,023
2 Кадмій	0,12	0,11	0,12	0,12	0,12 ± 0,0024
3 Мідь	3,5	3,48	3,40	3,27	3,51 ± 0,08
4 Цинк	19,3	19,28	19,16	19,09	19,21 ± 0,36

Накопичення міді і цинку у сіні з різнотрав'я, у кількостях, що перевищує вміст важких металів свинцю і кадмію, обумовлюється їх необхідністю для споживання рослинами. При цьому слід зазначити, що нестача міді в ґрунті зумовлює захворювання рослин на «білу плямистість», а нестача діє на тварин лише тоді коли її вміст у сухій речовині, яку вони поїдають, становить величину, що не перевищує 8 мг/кг. Отже сіно з різнотрав'я вирощене на світло-сірій, темно-сірих і чорноземних ґрунтах, при вмісті в них міді 1,38 мг/кг; 4,76 мг/кг; 3,51 мг/кг відповідно може негативно впливати на здоров'я тварин і якість тваринницької продукції (молока, м'яса).

За умов високого вмісту у ґрунтах рухомих форм фосфору 183–300 мг/кг, за рахунок внесення фосфорних добрив, може мати явище «зникнення» з ґрунту доступного цинку, що обумовить зменшення надходження його до сіна з різнотрав'я. Незважаючи на загрозу «зникнення» рухомих форм цинку у світло-сірих, темно-сірих і чорноземних ґрунтах вміст цинку у сіні досягнув значень 19,73 мг/кг, 16,0 мг/кг, 19,21 мг/кг відповідно, що може свідчити про добру його якість для споживання тваринами.

Одночасно для встановлення зв'язку в системі ґрунти – рослинні угруповання ми визначали коефіцієнти біологічного поглинання (КБП) за співвідношенням вмісту мікроелементів у сіні з різнотрав'я і вмісту їх у ґрунті (табл. 4). Як видно з таблиці 4, коефіцієнти біологічного поглинання важких металів різнотрав'ям з досліджуваних ґрунтів за свинцем досягав значень 0,92; 1,97; 0,8 за кадмієм 0,58; 1,13; 1,2 відповідно, що свідчить про низьку здатність різнотрав'я до поглинання токсикантів. Значно вищу поглинальну здатність засвідчило різнотрав'я до поглинання міді і цинку з ґрунту.

Величини КБП за міддю у різнотрав'ї з досліджуваних ґрунтів змінювалися у межах 9,52; 33,52; 27,0, а за цинком 39,3; 23,88; 53,36 відповідно, що засвідчує високу здатність різнотрав'я до засвоєння рухомих форм цих мікроелементів з ґрунтів зони Лісостепу.

Таблиця 4

Коефіцієнти біологічного поглинання сіном з різнотрав'я  
мікроелементів

I. Світло-сірі і сірі опідзолені легкосуглинкові ґрунти  
(с. Орестів, Здолбунівський р-н)

Назва мікро- елементів, мг/кг	Роки				Середнє
	2016	2017	2018	2019	
1 Свинець	0,88	0,95	0,93	0,92	0,92
2 Кадмій	0,73	0,43	0,50	0,69	0,58
3 Мідь	10,86	8,12	10,0	9,27	9,52
4 Цинк	34,68	39,58	36,62	47,11	39,3

II. Темно-сірі опідзолені легкосуглинкові ґрунти  
(с. Забороль, Рівненський р-н)

Назва мікро- елементів, мг/кг	Роки				Середнє
	2016	2017	2018	2019	
1 Свинець	2,04	1,88	1,89	2,08	1,97
2 Кадмій	1,18	1,0	1,20	1,18	1,13
3 Мідь	33,92	29,41	35,43	35,71	33,52
4 Цинк	23,75	22,53	23,22	26,34	23,88

III. Чорноземи опідзолені слабо деградовані легкосуглинкові ґрунти  
(с. Оженіно, Острозький р-н)

Назва мікро- елементів, мг/кг	Роки				Середнє
	2017	2018	2019	2020	
1 Свинець	0,72	0,76	0,82	0,92	0,80
2 Кадмій	1,20	1,10	1,20	1,20	1,20
3 Мідь	20,59	26,77	30,91	29,73	27,0
4 Цинк	68,93	53,56	49,13	47,72	53,36

**Висновки**

1. Установлено, що забезпечення світло-сірих, темно-сірих опідзолених лісових і чорноземних опідзолених ґрунтів важкими металами свинцем, кадмієм і мікроелементами міддю і цинком, в

середньому за 2016–2020 роки була слабкою або помірною: Pb – 1,58; 1,18; 1,31 мг/кг; Cd – 0,125; 0,108; 0,10 мг/кг; Cu – 0,143; 0,142; 0,13 мг/кг; Zn – 0,502; 0,67; 0,36 мг/кг відповідно до цих ґрунтів.

2. Коефіцієнти шкідливості важких металів і мікроелементів у світло-сірих, темно-сірих опідзолених лісових і чорноземних опідзолених ґрунтах були нижчими за ГДК і змінювалися у межах для цих ґрунтів, а саме за свинцем – 0,263; 0,197; 0,216, за кадмієм – 0,178; 0,154; 0,07, за міддю – 0,048; 0,047; 0,043, за цинком – 0,022; 0,029; 0,016.

3. Сіно з різнотрав'я за вмістом міді 1,38 мг/кг, 4,76 мг/кг, 3,51 мг/кг вирощене на досліджуваних ґрунтах не досягає оптимальних значень 8,0 мг/кг і може негативно діяти і впливати на захворюваність тварин і якість тваринницької продукції молока і м'яса, а за вмістом цинку досягало рівнів 19,73 мг/кг, 16,0 мг/кг, 19,21 мг/кг, що свідчить про добру якість сіна.

4. Коефіцієнти біологічного поглинання свідчать про високу здатність різнотрав'я до споживання міді 9,52; 33,52; 27,0 та цинку – 39,3; 23,88; 53,36 і низьку до важких металів свинцю – 0,90; 1,97; 0,8 та кадмію – 0,58; 1,13; 1,2 відповідно до досліджуваних ґрунтів.

1. Вернадський В. І. Біосфера. М., 1971. С. 165–183. 2. Городній М. М. та ін. Агрохімія : підручник. ТОВ «Алефа». 2003. 778 с. 3. Бондар Г. О., Торхова Н. А., Зленко І. Б. Порівняльна характеристика вмісту деяких мікроелементів в едафотонах та рослинах природних і штучних екосистемах. *Екологічні питання співіснування людина-рослина* : матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції. К. : Центр екологічної освіти та інформатики, 2009. С. 297. 4. Клименко М. О., Борисюк Б. В., Колесник Т. М. Збалансоване використання земельних ресурсів : навч. посіб. Херсон : ОЛДІ-ПЛЮС, 2014. 552 с. 5. Luo L., Ma Y., Zhang S., Wei D., Zhu Y. An inventory of trace element inputs to agricultural soils in China. *Journal of Environmental Management*. 2009. Vol. 90(8). P. 2524–2530. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.01.011>. 6. Zhao F. J., Ma Y., Zhu Y. G., Tang Z., McGrath S. P. Soil Contamination in China: Current Status and Mitigation Strategies. *Environmental Science & Technology*. 2015. Vol. 49. P. 750–759. <https://doi.org/10.1021/es5047099>. 7. Khan S., Naushad M., Lima E. C., Zhang S., Shaheen S. M., Rinklebe J. Global soil pollution by toxic elements: Current status and future perspectives on the risk assessment and remediation strategies – A review. *Journal of Hazardous Materials*. 2019. Vol. 417. P. 126039. 8. Емам В. В. М., Соліман К. М. Геопросторовий аналіз, ідентифікація джерела, стан забруднення, оцінка екологічного ризику та ризику для здоров'я важких металів у сільськогосподарських ґрунтах міста Каллін. Єгипет. *Стохастичне дослідження навколишнього середовища та оцінка ризиків*. Вип. 11. С. 1264. <https://doi.org/10.1007/s00477-021-02097-8>. 9. Разанов С. Ф., Ткачук О. П. Інтенсивна хімізація землі – як передумова забруднення зернової продукції швидкорізальними металами. *Технологія виробництва і переробки продукції тваринництва*. 2017. Вип. 1(134). С. 70–75. 10. Razanov S., Husak O., Hnativ P., Dydiv A.,

Bakhmat O., Stepanchenko V., Pryshchepa A., Shcherbachuk V., Mazurak O. The influence of the moisture level of gray forest soil on the accumulation of Pb, Cd, Zn, Cu in spring barley grains. *Journal of Ecological. Engineering*. 2023. Vol. 24(7). С. 285–292. <https://doi.org/10.12911/22998993/164747>. **11.** Serhii Razanov, Viktoriia Melnyk, Lyudmyla Symochko, Andrii Dydiv, Oksana Vradii, Volodymyr Balkovskyi, Petro Khirivskyi, Natalia Panas, Lysak Halyna, Olha Koruniak. Agroecological Assessment Of Gray Forest Soils Under Intensive Horticulture. *International Journal of Ecosystems and Ecology Science (IJEES)*. 2022. Vol. 12(3). P. 459–464. <https://doi.org/10.31407/ijeess12.4>. **12.** Razanov S., Piddubna A., Hutsol G., Simochko L., Kovaleva S., Bakhmat M., Bakhmat O. Estimation of Heavy Metals Accumulation By Vegetables In Agroecosystems As One Of the Main Aspects In Food Security. *International Journal of Ecosystems and Ecology Science (IJEES)*. 2022. Vol. 12(3), P. 159–164. <https://doi.org/10.31407/ijeess12.320>. **13.** Razanov Serhii; Tkachuk Oleksandr; Lebedieva Natalia; Shkatula Yuri; Polishchuk Mikhaylo; Melnyk Maryna; Krektun Bohdan; Razanova Alla. Phytoremediation of heavy metal contamination by perennial legumes. *International Journal of Environmental Studies*. 2023. Vol. 81, Issue 1. Pp. 216–222. <https://doi.org/10.1080/00207233.2023.2296764>. **14.** Zheng S., Wang Q., Yuan Y., Sun W. Human health risk assessment of heavy metals in soil and food crops in the Pearl River Delta urban agglomeration of China. *Food Chemistry*. 2020. Vol. 316(1-3). P. 126213. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126213>. **15.** Паламарчук Р. П., Городиська І. М., Безноска І. В. Вміст мікроелементів у дерново-підзолистому ґрунті та основній продукції культур п'ятипільної сівозміни залежно від норм удобрення. *Вісник НУБГП. Сер. Сільськогосподарські науки*. 2025. Вип. 2 (110). С. 239–251.

## REFERENCES:

**1.** Vernadskyi V. I. *Biosfera*. М., 1971. С. 165–183. **2.** Horodnii M. M. та ін. *Ahrokhimiia : pidruchnyk*. TOV «Alefa». 2003. 778 с. **3.** Bondar H. O., Torkhova N. A., Zlenko I. B. Porivnialna kharakterystyka vmistu deiakykh mikroelementiv v edafotonakh ta roslynakh pryrodnykh i shtuchnykh ekosystemakh. *Ekolohichni pytannia spivisnuvannia liudyna-roslyna : materialy Vseukrainskoi naukovo-praktychnoi konferentsii*. К. : Tsentр ekolohichnoi osvity ta informatyky, 2009. С. 297. **4.** Klymenko M. O., Borysiuk B. V., Kolesnyk T. M. Zbalansovane vykorystannia zemelnykh resursiv : navch. posib. Kherson : OLDI-PLluS, 2014. 552 с. **5.** Luo L., Ma Y., Zhang S., Wei D., Zhu Y. An inventory of trace element inputs to agricultural soils in China. *Journal of Environmental Management*. 2009. Vol. 90(8). P. 2524–2530. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.01.011>. **6.** Zhao F. J., Ma Y., Zhu Y. G., Tang Z., McGrath S. P. Soil Contamination in China: Current Status and Mitigation Strategies. *Environmental Science & Technology*. 2015. Vol. 49. P. 750–759. <https://doi.org/10.1021/es5047099>. **7.** Khan S., Naushad M., Lima E. C., Zhang S., Shaheen S. M., Rinklebe J. Global soil pollution by toxic elements: Current status and future perspectives on the risk assessment and remediation strategies – A review. *Journal of Hazardous Materials*. 2019. Vol. 417. P. 126039. **8.** Emam V. V. M., Soliman K. M. Heoprostorovyi analiz, identyfikatsiia dzherela, stan zabrudnennia, otsinka ekolohichnoho ryzyku ta ryzyku dlia zdorovia vazhkykh metaliv u silskohospodarskykh gruntakh mista Kallin. Yehypet. *Stokhastychnе doslidzhennia navkolyshnoho seredovyshcha ta otsinka ryzykiv*. Vyp. 11. С. 1264. <https://doi.org/10.1007/s00477-021-02097-8>. **9.** Razanov S. F., Tkachuk O. P. Intensyvna khimizatsiia zemli – yak peredumova

zabrudnennia zernovoi produktsii shvydkorizalnymy metalamy. *Tekhnolohiia vyrobnytstva i pererobky produktsii tvarynnytstva*. 2017. Vyp. 1(134). S. 70–75.

**10.** Razanov S., Husak O., Hnativ P., Dydiv A., Bakhmat O., Stepanchenko V., Pryshchepa A., Shcherbachuk V., Mazurak O. The influence of the moisture level of gray forest soil on the accumulation of Pb, Cd, Zn, Cu in spring barley grains. *Journal of Ecological Engineering*. 2023. Vol. 24(7). C. 285–292. <https://doi.org/10.12911/22998993/164747>.

**11.** Serhii Razanov, Viktoriia Melnyk, Lyudmyla Symochko, Andrii Dydiv, Oksana Vradii, Volodymyr Balkovskyi, Petro Khirivskyi, Natalia Panas, Lysak Halyna, Olha Koruniak. Agroecological Assessment Of Gray Forest Soils Under Intensive Horticulture. *International Journal of Ecosystems and Ecology Science (IJEES)*. 2022. Vol. 12(3). P. 459–464. <https://doi.org/10.31407/ijeess12.4>.

**12.** Razanov S., Pidubna A., Hutsol G., Simochko L., Kovaleva S., Bakhmat M., Bakhmat O. Estimation of Heavy Metals Accumulation By Vegetables In Agroecosystems As One Of the Main Aspects In Food Security. *International Journal of Ecosystems and Ecology Science (IJEES)*. 2022. Vol. 12(3), P. 159–164. <https://doi.org/10.31407/ijeess12.320>.

**13.** Razanov Serhii; Tkachuk Oleksandr; Lebedieva Natalia; Shkatula Yuri; Polishchuk Mikhaylo; Melnyk Maryna; Krektun Bohdan; Razanova Alla. Phytoremediation of heavy metal contamination by perennial legumes. *International Journal of Environmental Studies*. 2023. Vol. 81, Issue 1. Pp. 216–222. <https://doi.org/10.1080/00207233.2023.2296764>.

**14.** Zheng S., Wang Q., Yuan Y., Sun W. Human health risk assessment of heavy metals in soil and food crops in the Pearl River Delta urban agglomeration of China. *Food Chemistry*. 2020. Vol. 316(1–3). P. 126213. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126213>.

**15.** Palamarchuk R. P., Horodyska I. M., Beznosko I. V. Vmist mikroelementiv u dernovo-pidzolistomu grunti ta osnovnii produktsii kultur piatypilnoi sivozminy zalezjno vid norm udobrennia. *Visnyk NUVHP. Ser. Silskohospodarski nauky*. 2025. Vyp. 2 (110). S. 239–251.

---

**Klymenko M. O.** [1; ORCID ID: 0000-0003-0892-0648],  
Doctor of Agricultural Sciences, Professor,  
**Varzhel O. V.** [1; ORCID ID: 0009-0007-0309-0733],  
Ph.D., Senior Lecturer  
**Rabeshko Ya. I.** [1; ORCID ID: 0009-0005-7262-9603],  
Post-graduate Student

<sup>1</sup>National University of Water and Environmental Engineering, Rivne

## **MICROELEMENT CONTENT IN MIXED-GRASS HAY GROWN ON FOREST-STEPPE SOILS**

**In the article, the data of research on the comparative assessment of microelement content in mixed-grass hay grown on light-gray, dark-gray, and podzolized chernozem soils of the Forest-Steppe zone are analyzed.**

The soil cover of the river basin is represented by light gray and dark gray podzolized loamy soils, as well as podzolized loamy chernozems formed on loess. These soils are characterized by the following: humus content in gray forest soils ranges from 2.1 to 2.4%, and in chernozems from 2.8 to 3.1%; soil acidity (pH) in gray forest soils varies from 5.3 to 6.2, while in chernozems from 6.5 to 6.8. The content of easily hydrolyzable nitrogen ranged from 92 to 140 mg/kg and from 137 to 154 mg/kg, available phosphorus from 183 to 210 mg/kg and up to 300 mg/kg, and exchangeable potassium from 62 to 75 mg/kg and up to 148 mg/kg, respectively, according to the studied soil types.

It was established that the content of the studied microelements in these soils formed the following sequence by increasing concentration: cadmium < copper < zinc < lead. According to contamination levels, the soils were evaluated as follows: by lead content (1.5–2.2 mg/kg) — moderate; by zinc content (5–9 mg/kg) — low; by copper content (1.0–1.9 mg/kg) — low; by cadmium content (0.2 mg/kg) — moderate.

The calculated toxicity coefficients of microelements were below the maximum permissible level of 1.0 and had the following ranges: for lead 0.26–0.20; for cadmium 0.18–0.07; for copper 0.048–0.043; for zinc 0.029–0.016.

The content of microelements in mixed-grass hay formed the following sequence by increasing levels: cadmium < lead < copper < zinc. Copper content (1.38–4.76 mg/kg) did not reach optimal values, while zinc content (16.0–19.73 mg/kg) indicated good nutritional quality for animal consumption. The biological absorption coefficients of heavy metals varied within 0.8–1.97 for lead and 0.58–1.2 for cadmium, which confirms the low ability of mixed-grass vegetation to accumulate toxicants. Much higher absorption capacity was recorded for copper (9.52–33.52) and zinc (23.36–53.36).

**Keywords:** microelements; mixed-grass hay; toxicity coefficients; light-gray and dark-gray forest soils; podzolized chernozems; biological absorption coefficients.

Отримано: 28 жовтня 2025 року  
Прорецензовано: 12 листопада 2025 року  
Прийнято до друку: 28 листопада 2025 року