

УДК 504.5:633.1"324":631.432.2(477)(292.485)

DOI: 10.37128/2707-5826-2023-2-16

**ВПЛИВ РІВНЯ ЗВОЛОЖЕННЯ ҐРУНТІВ  
НА ТРАНСЛОКАЦІЮ Zn і Cu У ЗЕРНО  
ОЗИМИХ ЗЕРНОВИХ КУЛЬТУР В  
УМОВАХ ЛІСОСТЕПУ  
ПРАВОБЕРЕЖНОГО**

**О.Б. ГУСАК**, аспірантка  
Вінницький національний  
аграрний університет

*До проблеми продовольчої безпеки прикута увага майже усієї світової спільноти. У багатьох країнах світу гостро відчувається нестача продовольчих ресурсів, основним джерелом якого є зернове господарство. Україна вирізняється серед інших країн сприятливими ґрунтово-кліматичними умовами для вирощування зернових, має належні технології, кваліфікованих працівників. Тому виробництво зернової продукції є одним із головних напрямків агропромислового комплексу України, до якого висуваються певні вимоги щодо якості.*

*Стаття присвячена вивченню впливу рівня зволоження ґрунтів на транслокацію Zn і Cu у зерно озимих зернових культур. Метою дослідження є вивчення впливу рівня зволоження ґрунтів (опади, зрошення) на вміст, коефіцієнт накопичення та небезпеки Zn і Cu у зерні озимої пшениці, озимого ячменю в умовах Лісостепу правобережного.*

*Встановлено, що підвищення коефіцієнта накопичення Zn і зниження коефіцієнта накопичення Cu у зерні зернових культур сприяло збільшенню концентрації Zn та зниження Cu. За такої умови ця особливість встановлена як у озимого ячменю сорту Луран, так і у пшениці озимій сорту Акратос. Зокрема, за рівня зрошення ґрунтів у період куцання-колосіння озимого ячменю та озимої пшениці від 256,2 мм до 272,5 мм концентрація Zn у зерні цих зернових культур була вища у 1,07 раза, а концентрація Cu була нижча у 1,05 раза у зерні озимого ячменю, а у зерні озимої пшениці концентрація Zn була вища у 1,14 раза і у 1,15 раза нижча концентрація Cu відповідно, порівняно з рівнем зволоження 47,4 мм і 52,3 мм. Коефіцієнт небезпеки важких металів у зерні озимих зернових культур за рівня зволоження ґрунтів від 256,2 мм до 272,5 мм у період куцання-колосіння був вищий по Zn і нижчий по Cu порівняно з рівнем зволоження 47,4 мм–52,3 мм. Збільшення коефіцієнта небезпеки Zn у 1,06 раза і зменшення коефіцієнта небезпеки Cu у 1,15 раза у зерні озимого ячменю та збільшення у 1,15 і зниження у 1,16 раза у зерні озимої пшениці відповідно.*

*За штучного зволоження ґрунтів під час вегетації у період куцання-колосіння до молочної стиглості зерна спостерігали підвищення коефіцієнта накопичення та небезпеки по Zn та зниження цих показників по Cu як у зерні озимого ячменю, так і у зерні озимої пшениці.*

**Ключові слова:** ґрунт, зерно, ячмінь, пшениця, важкі метали, Zn, Cu, опади, штучний полив, коефіцієнт накопичення, коефіцієнт небезпеки.

**Табл. 4. Рис. 1. Літ. 18.**

**Постановка проблеми.** Основу сільськогосподарського виробництва складають зернові культури. Зерно є основним джерелом енергії для життєдіяльності людини. Україна виступає одним із гарантів продовольчої безпеки в світі та є одним з головних постачальників зернових культур посідаючи друге місце після США. Тому, крім поставлених завдань щодо збільшення виробництва зерна, важливим є також питання покращення його якості.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** В Україні від загальної кількості виробленого зернових культур використовують на корм тваринам 30-40 %, для харчування – 15-20 %, насіння – 8-10 %, перероблення з харчовою потребою – 2-3 % [1].

Зерновим культурам характерний широкий спектр використання, зокрема, їх застосовують у практичній і народній медицині. Існує постійна потреба зернової продукції у фармакологічній, косметичній та спиртовій сферах. Високого рівня вживання зернових культур набуває у тваринництві в якості високопоживних кормів [2]. Залишки соломи зернових культур використовують за різними напрямками: на корм худобі, птиці; підстилка для тварин; перероблення на органічне добриво; вирощування грибів. Останнім часом практикують використання залишків вегетативної маси зернових культур на енергетичні потреби (виробництво брикетів і гранул для спалювання в котлах, як сировини для виробництва біопалива).

Відомо, що для вирощення якісних зернових культур, важливим компонентом є середовище їх вирощування, зокрема, стан ґрунтів. Вологість ґрунту істотно впливає на врожайність та якість зернових культур. Останнім часом в Україні спостерігаються аномальні погодні явища (низька кількість опадів, підвищення температури повітря протягом року), які раніше відбувалися рідко та були нехарактерні для клімату нашої країни. Виявлено, що кількість аномальних явищ на території нашої країни постійно зростає [3].

Встановлено, що від температури навколишнього середовища залежать терміни та умови вирощування зернових культур. Від умов теплового режиму ґрунтів залежать майже усі хімічні та біологічні процеси трансформації елементів живлення, що проходять у ґрунті. Теплозабезпеченість посівів зернових культур визначається сукупністю середньодобових температур повітря вищих за 10°C упродовж періоду вегетації. Біохімічним процесам у клітинах шкодить не лише висока, а й низька температура повітря. Такі різкі зміни викликають в рослині безповоротні зміни, що можуть привести до призупинення росту або навіть до гибелі зернових культур [3].

Підвищення температури до 25-28°C збільшує активність фотосинтезу, а у майбутньому її зростанні може спричинити перевагу дихання над фотосинтезом, що призведе до зменшення маси зерна зернових культур. Зниження інтенсивності фотосинтезу та росту рослин також можливе і при зниженні температури до 10°C [3].

Потепління спричиняє посилене розмноження та міграцію комах-шкідників сільськогосподарських культур. Багато комах із підвищенням температури швидко розселяються в тих регіонах, що раніше були для них недоступними через недостатню кількість тепла. У більш теплих кліматичних умовах комахи-шкідники починають розвиватися в більш ранні періоди та пошкоджувати рослини, які не встигли зміцніти, що призводить до значних втрат урожаю [4]. Також зміна клімату на території України призводить до розповсюдження серед рослин зернових культур різних патогенних організмів:

шкідників, бур'янів та бур'янів-паразитів (відмічається зростання бур'янів унаслідок сприятливих кліматичних умов для їхньої перезимівлі) [5,6].

Зниження обсягів валових зборів, рівня урожайності та якості зернової продукції в Україні може відбуватися внаслідок антропогенних порушень, техногенної перевантаженості території України, негативних екологічних наслідків Чорнобильської катастрофи, неефективного використання природних ресурсів, широкомасштабного застосування екологічно шкідливих і недосконалих технологій, негативних екологічних наслідків оборонної та військової діяльності [7].

Інтенсивне застосування засобів хімізації у процесі вирощування зернових культур в Україні загалом та у Вінницькій області зокрема, створює загрозу щораз більшого забруднення зерна токсичними речовинами, а саме: важкими металами, нітратами, радіонуклідами, хлором, сіркою та призводить до деградації ґрунтів [8-10]. Ситуація ускладнюється тим, що для важких металів не існує механізмів природного самоочищення, а очисні споруди практично повністю «пропускають» мінеральні солі, зокрема, й сполуки, які утворені токсичними та канцерогенними важкими металами [8].

Отже, в сучасних екологічних умовах в аграрному виробництві постає вимога у здійсненні контролю за інтенсивністю накопичення важких металів у продовольчій сировині рослинного походження, зокрема, в сучасних умовах зміни клімату з метою прогнозованого виробництва якісних та безпечних зернових культур [11].

**Метою** дослідження є вивчення впливу рівня зволоження ґрунтів (опади, зрошення) на вміст, коефіцієнту накопичення та небезпеки Zn, Cu у зерні пшениці озимої та ячменю озимого в умовах Лісостепу Правобережного.

**Матеріали і методика досліджень.** Дослідження з вивчення впливу рівня зволоження ґрунтів на транслокацію важких металів у зерно озимих зернових культур проводили на полях фермерського господарства «Зоря Василівки», с. Василівка, Вінницького району Вінницької області.

Вінницькому району характерні темно-сірі опідзолені ґрунти, які утворилися в процесі природного заростання степових просторів широколистяними лісами. Вони мають якісні агрономічні властивості та є родючими [12]. Вінницький район належить до місцевості з нестійким зволоженням і має періодичні посухи. Клімат помірно-континентальний з тривалим і теплим літом та короткою помірно-холодною зимою. Тривалість вегетаційного періоду залежно від умов вирощування та температури в середньому у озимої пшениці становить від 190 до 210 днів, а у озимого ячменю від 230 до 290 днів [13].

У дослідженнях було використано озимі зернові культури: озима пшениця, сорт – Акратос; озимий ячмінь, сорт – Луран.

Вивчення впливу рівня зволоження ґрунтів проводили за схемою досліджень (табл. 1). Зрошення зернових озимих культур проводили шляхом штучного дощування в період фази куцання-колосіння, згідно схеми

досліджень (Табл. 1).

Рівень зволоження ґрунтів визначали за допомогою дощоміру – метеорологічного приладу для вимірювання обсягу опадів, а для визначення температури повітря використовували термометр.

Гідротермічний коефіцієнт (ГТК), який характеризує умови атмосферного зволоження території, визначали за методикою Г.Т. Селянінова [14].

Таблиця 1

## Схема досліджень

Культура	Особливості зволоження ґрунтів	Роки проведення досліджень	Рівень зволоження ґрунтів/мм	ГТК	Показники інтенсивності накопичення важких металів у зернових культурах.	
Ячмінь озимий	Опади	2020–2021	52,3	0,87	Концентр.: Zn, Cu	$K_{\text{нак.}}$ , $K_{\text{неб.}}$ Zn, Cu
		2021–2022	47,4	0,72		
	Опади та зрошення	2020–2021	256,2	3,14	Концентр.: Zn, Cu	$K_{\text{нак.}}$ , $K_{\text{неб.}}$ Zn, Cu
		2021–2022	272,5	2,96		
Пшениця озима	Опади	2020–2021	52,3	0,87	Концентр.: Zn, Cu	$K_{\text{нак.}}$ , $K_{\text{неб.}}$ Zn, Cu
		2021–2022	47,4	0,72		
	Опади та зрошення	2020–2021	256,2	3,14	Концентр.: Zn, Cu	$K_{\text{нак.}}$ , $K_{\text{неб.}}$ Zn, Cu
		2021–2022	272,5	2,96		

Джерело: сформовано на основі власних досліджень та розрахунків

Відбір зразків ґрунту для визначення концентрації, вмісту в ньому важких металів (Zn, Cu) проводили методом конверту. Ґрунт відбирали щупом на глибині його переорювання 22-24 см.

Відбір зерна озимих та ярих зернових культур проводили ручним щупом від кожної партії окремо [15].

Визначення важких металів Zn та Cu у зернових культурах проводили атомно-абсорбційним методом визначення токсичних елементів у харчових продуктах і харчовій сировині.

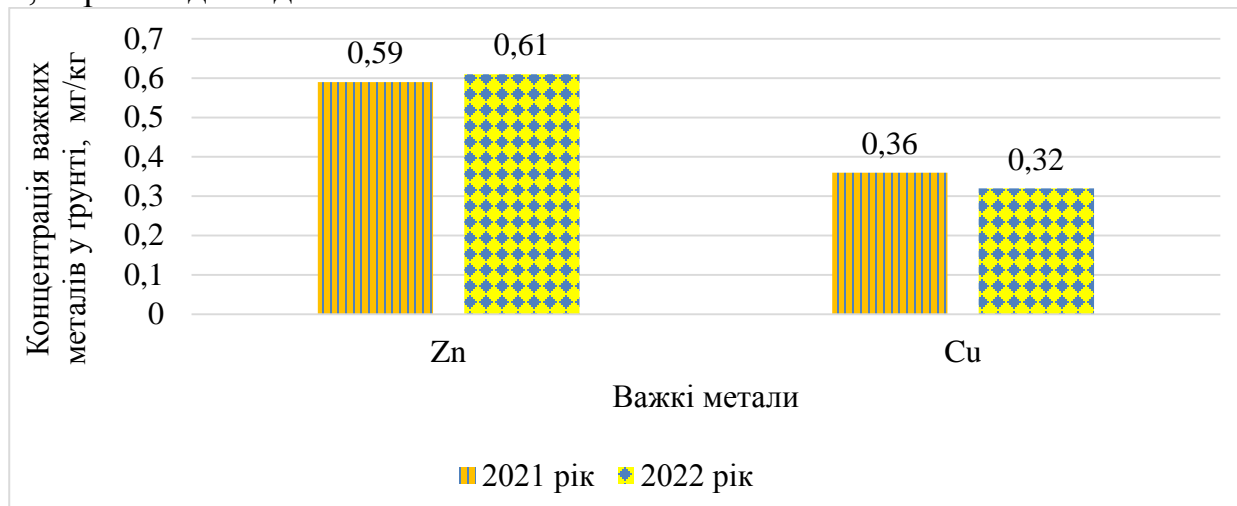
Коефіцієнт накопичення ( $K_{\text{нак.}}$ ) визначали за формулою:

$$K_{\text{нак.}} = \frac{\text{Вміст важких металів у зерні зернових культур}}{\text{Вміст важких металів у ґрунті}}$$

Коефіцієнт небезпеки ( $K_{\text{неб.}}$ ) визначали за формулою:

$$K_{\text{неб.}} = \frac{\text{Вміст важких металів у зерні зернових культур}}{\text{Норма важких металів згідно ГДК}}$$

**Результати досліджень та їх обговорення.** Результати досліджень з вивчення інтенсивності забруднення ґрунтів рухомими формами важких металів (Рис. 1) показали, що перевищень ГДК, які встановлено по Zn – 23,0 мг/кг та Cu – 3,0 мг/кг не спостерігали. Зокрема, концентрація Zn та Cu у ґрунті була нижча за ГДК 2021 року у 38,9 та 8,3 раза, а 2022 року – у 37,7 та 9,37 раза відповідно.



*Рис. 1.* Інтенсивність забруднення ґрунтів важкими металами, мг / кг.  
Джерело: сформовано на основі власних досліджень та розрахунків

Аналізуючи концентрацію важких металів (Табл. 2) необхідно зазначити, що за рівня зволоження ґрунтів від 256,2 мм до 272,5 мм цей показник був вищий по Zn у 1,07 раза, а по Cu був нижчий у 1,15 раза у зерні озимого

*Таблиця 2*

**Концентрація важких металів у зерні озимих зернових культур мг / кг, залежно від рівня зволоження ґрунтів**

Культура	Особливості зволоження ґрунтів	Роки проведення досліджень	Рівень зволоження ґрунтів	ГТК	Важкі метали					
					Zn		В середньому за роки	Cu		В середньому за роки
					Фактична	ГДК		Фактична	ГДК	
Ячмінь озимий	Опади	2021	52,3	0,87	23,1	50	23,8±	5,87	10	5,98±
		2022	47,4	0,72	24,5	50	0,040	6.10	10	0,004
	Опади та зрошення	2021	256,2	3,14	24,8	50	25,5±	4,56	10	5,20±
		2022	272,5	2,96	26,2	50	0,254	5.85	10	0,013
Пшениця озима	Опади	2021	52,3	0,87	22,9	50	22,95±	6,35	10	6,25±
		2022	47,4	0,72	23.0	50	0,145	6.15	10	0,008
	Опади та зрошення	2021	256,2	3,14	25,4	50	26,25±	4,89	10	5,42±
		2022	272,5	2,96	27,1	50	0,041	5.95	10	0,015

*Джерело:* сформовано на основі власних досліджень та розрахунків

ячменю і відповідно у 1,14 раза вищий Zn, та у 1,15 раза був нижчий Cu у зерні озимої пшениці порівняно з рівнем зволоження ґрунтів від 47,4 мм до 52,3 мм.

Характеризуючи коефіцієнт накопичення важких металів (Табл. 3) необхідно зауважити, що за рівня зволоження ґрунтів від 256,2 мм до 272,5 мм цей показник був вищим Zn у 1,07 раза, а Cu нижчим у 1.05 раза у зерні озимого ячменю, та у 1,14 раза вищий Zn і у 1,15 раза нижчий Cu відповідно у зерні озимої пшениці порівняно з рівнем зволоження ґрунтів від 47,4 мм до 52,3 мм.

Таблиця 3

**Коефіцієнт накопичення важких металів у зерні озимих зернових культур  
мг / кг, залежно від рівня зволоження ґрунтів**

Культура	Особливості зволоження ґрунтів	Роки проведення досліджень	Рівень зволоження ґрунтів	ГТК	Важкі метали			
					Zn	В середньому за роки	Cu	В середньому за роки
Ячмінь озимий	Опади	2021	52,3	0,87	39,1	39,65	16,3	17,65
		2022	47,4	0,72	40,2		19,0	
	Опади та зрошення	2021	256,2	3,14	42,0	42,45	12,6	16,8
		2022	272,5	2,96	42,9		18,3	
Пшениця озима	Опади	2021	52,3	0,87	38,8	38,25	17,6	18,4
		2022	47,4	0,72	37,7		19,2	
	Опади та зрошення	2021	256,2	3,14	43,0	43,7	13,6	16,05
		2022	272,5	2,96	44,4		18,5	

Джерело: сформовано на основі власних досліджень та розрахунків

Коефіцієнт небезпеки важких металів (Табл. 4) у зерні озимих зернових культурах за рівня зволоження ґрунтів від 256,2 мм. до 272,5 мм у період куцання-колосіння був вищий Zn і нижчий Cu порівняно з рівнем зволоження 47,4 мм–52,3 мм. Збільшення Zn у 1,06 раза та зменшення Cu у 1,15 раза у зерні озимого ячменю та у 1,15 і 1,16 раза відповідно у зерні озимої пшениці.

Отже, в результаті проведених досліджень виявлено, що за штучного зрошення ґрунтів озимих зернових культур спостерігалось підвищення транслокації Zn та зниження транслокації Cu у зерні, відповідно до коефіцієнту небезпеки цих токсикантів.

Таблиця 4

**Коефіцієнт небезпеки важких металів у зерні озимих зернових культур  
мг / кг, залежно від рівня зволоження ґрунтів**

Культура	Особливості зволоження ґрунтів	Роки проведення досліджень	Рівень зволоження ґрунтів	ГТК	Важкі метали			
					Zn	В середньому за роки	Cu	В середньому за роки
Ячмінь озимий	Опади	2021	52,3	0,87	0,46	0,47	0,58	0,59
		2022	47,4	0,72	0,49		0,61	
	Опади та зрошення	2021	256,2	3,14	0,49	0,50	0,45	0,51
		2022	272,5	2,96	0,52		0,58	
Пшениця озима	Опади	2021	52,3	0,87	0,45	0,45	0,63	0,62
		2022	47,4	0,72	0,46		0,61	
	Опади та зрошення	2021	256,2	3,14	0,50	0,52	0,48	0,53
		2022	272,5	2,96	0,54		0,59	

*Джерело: сформовано на основі власних досліджень та розрахунків*

**Висновки і перспективи подальших досліджень.** За штучного зрошення ґрунтів під час вегетації у період від фази кушення до молочної стиглості зерна спостерігалось підвищення Zn та зниження Cu як у зерні озимого ячменю, так і у зерні озимої пшениці. Виявлено певну системність підвищення показника накопичення Zn і зниження цього показника накопичення Cu у зерні озимих зернових культур у варіантах як за природного зволоження, так і за умови додаткового зрошення ґрунтів.

У результаті проведених досліджень встановлено, що за рівня зрошення ґрунтів (256,2 мм – 272,5 мм) у період кушення-колосіння озимих зернових культур коефіцієнт накопичення Zn у зерні підвищувався в ячменю сорту Луран у 1,07 раза, а в пшениці сорту Акратос у 1,14 раза, коефіцієнт накопичення Cu знижувався в ячменю сорту Луран у 1,05 раза, а в пшениці сорту Акратос – у 1,15 раза відповідно порівняно з рівнем зволоження за цей період: 47,4 мм – 52,3 мм.

Підвищення коефіцієнта накопичення Zn і зниження коефіцієнта накопичення Cu у зерні озимих зернових культур сприяло збільшенню концентрації Zn та зниженню Cu за такої умови ця особливість встановлена як в ячменю озимому сорту Луран, так і у пшениці озимій сорту Акратос.

### Список використаної літератури

1. Рогач С.М., Гуцул Т.А., В.А. Ткачук та ін. Економіка і підприємництво, менеджмент: навч. посіб. Київ, 2018. 722 с.
2. Черчель В. Ю., Шевченко М. С. Агроресурси і наукове моделювання виробництва 100 мільйонів тонн зерна. *Зернові культури*. 2020. Т. 4. № 1. С. 53–63.
3. Ткачук О. П., Шкатула Ю. М., Тітаренко О. М. Сільськогосподарська екологія: навчальний посібник. Вінниця: ВНАУ, 2020. 542 с.
4. Коробських І.О. Кліматичні зміни та сільське господарство. *Кліматичні зміни та сільське господарство. Виклики для аграрної науки та освіти: матеріали II Міжнародної науково-практичної конференції (Київ – Миколаїв – Херсон 10–12 квітня 2019 р.)*. Київ – Миколаїв – Херсон, 2019. С. 32–33.
5. Разанов С.Ф., Гусак О.Б. Вплив клімату на вирощування зернових культур. *Кліматичні зміни та сільське господарство. Виклики для аграрної науки та освіти: матеріали IV Міжнародної науково-практичної конференції (Київ, 21 квітня 2021 р.)*. Київ, 2021. С. 165–167.
6. Тимчук В. М., Тимчук С. М. Вплив кліматичних змін на ведення агробізнесу. *Агробізнес сьогодні*. 2016. URL: <http://agro-business.com.ua/agro/idei-trendy/item/8377-vplyv-klimatychnykh-zmin-na-vedennia-ahrobiznesu.html> (дата звернення 14.02.2023).
7. Хилько М. І. Екологічна безпека України: навчальний посібник. Київ, 2017. 267 с.
8. Кричківська Л. В., Белінська А. П., Анан'єва В. В. Безпека харчових продуктів: антиаліментарні фактори, ксенобіотики, харчові добавки: навчальний посібник. Харків: НТУ «ХП», 2017. 98 с.
9. Мазур В. А., Ткачук О. П., Яковець Л. А. Екологічна безпека зернової та зернобобової продукції: монографія. Вінниця: ВНАУ. 2020. 442 с.
10. Разанов С. Ф., Ткачук О. П. Інтенсивна хімізація землеробства – як передумова забруднення зернової продукції важкими металами. *Технологія виробництва і переробки продукції тваринництва*. 2017. № 1–2 (134). С. 70–75.
11. Ткачук О. П., Яковець Л. А. Особливості забруднення зернової продукції важкими металами в умовах Вінницької області. *Сільське господарство та лісівництво*. 2016. № 4. С. 179–186.
12. Мазур О. В., Поліщук М. І., Тинько В. В. Оцінка густоти рослин ячменю ярого залежно від технологічних прийомів вирощування. *Сільське господарство та лісівництво*. 2021. № 23. С. 234–243.
13. Клімат України – Український Гідрометцентр. URL: <https://meteo.gov.ua/ua/33562/climate/climate/> (дата звернення 15.01.2023).
14. Примак І. Д., Польовий А. М., Гамалій І. П. Сільськогосподарська метеорологія та кліматологія. Біла Церква, 2008. 488 с.
15. Прістер Б. С. Довідник для радіологічних служб Мінсільгосппроду України. Київ, 1997. 175 с.



### Список використаної літератури у транслітерації / References

1. Rogach S. M., Gucul T. A., Tkachuk V. A., Balan O. D., Balanovska T. I., Gogulya O. P. (2018). *Ekonomika i pidpriyemnictvo, menedzhment: navchalnij posibnik.- 2-ge vid. [Economics and entrepreneurship, management].* Kiyiv. 722 s. [in Ukrainian].

2. Cherchel V. Y., Shevchenko M. S. (2020). *Agroresursi i naukove modelyuvannya virobництва 100 milioniv tonn zerna. [Agricultural resources and scientific modeling of the production of 100 million tons of grain].* *Zernovi kulturi – Cereal crops.* 4. № 1. 53-63. [in Ukrainian].

3. Tkachuk O. P., Shkatula Y. M., Titarenko O. M. (2020). *Silskogospodarska ekologiya [Agricultural ecology]: navchalnij posibnik.* Vinnicya: VNAU. 542.

4. Korobskih I. O. (2019). *Klimatichni zmini ta silske gospodarstvo [Climate change and agriculture].* *Klimatichni zmini ta silske gospodarstvo. Vikliki dlya agrarnoyi nauki ta osviti: materiali II Mizhnarodnoyi naukovo-praktichnoyi konferenciyi.* Kiyiv – Mikolayiv – Herson. 32–33. [in Ukrainian].

5. Razanov S. F., Gusak O. B. (2021). *Vplyv klimatu na viroshhuvannya zernovih kultur [The influence of climate on the cultivation of grain crops].* *Klimatichni zmini ta silske gospodarstvo. Vikliki dlya agrarnoyi nauki ta osviti: materiali IV Mizhnarodnoyi naukovo-praktichnoyi konferenciyi.* Kiyiv. 165–167. [in Ukrainian].

6. Timchuk V. M., Timchuk S. M. (2016). *Vplyv klimatichnih zmin na vedennya agrobiznesu [The impact of climate change on agribusiness].* *Agrobiznes сьогодні.– Agribusiness today.* URL: <http://agro-business.com.ua/agro/idei-trendy/item/8377-vplyv-klimatychnykh-zmin-na-vedennia-agrobiznesu.html>. (appeal date 14.02.2023). [in Ukrainian].

7. Hilko M. I. (2017). *Ekologichna bezpeka Ukrayini [Environmental security of Ukraine]: navchalnij posibnik.* Kiyiv. 267 s. [in Ukrainian].

8. Krichkovska L. V., Byelinska A. P., Anan'yeva V. V. (2017). *Bezpeka harchovih produktiv: antialimentarni faktori, ksenobiotiki, harchovi dobavki [Safety of food products: anti-alimentary factors, xenobiotics, food additives]: navchalnij posibnik.* Harkiv: NTU «HPI». 98. [in Ukrainian].

9. Mazur V. A., Tkachuk O. P., Yakovec L. A. (2020). *Ekologichna bezpeka zernovoyi ta zernobobovoyi produkciyi [Environmental safety of grain and leguminous products]: monografiya.* Vinnicya: VNAU. 442. [in Ukrainian].

10. Razanov S. F., Tkachuk O. P. (2017). *Intensivna himizaciya zemlerobstva – yak peredumova zabrudnennya zernovoyi produkciyi vazhkimi metalami [Intensive chemicalization of agriculture is a prerequisite for the contamination of grain products with heavy metals].* *Tehnologiya virobництва i pererobki produkciyi tvarinnictva.– Technology of production and processing of animal husbandry products.* №. 1–2 (134). 70–75. [in Ukrainian].

11. Tkachuk O. P., Yakovec L. A. (2016). *Osoblivosti zabrudnennya zernovoyi produkciyi vazhkimi metalami v umovah Vinnickoyi oblasti [Peculiarities of contamination of grain products with heavy metals in Vinnytsia region].* *Silske gospodarstvo ta lisivnictvo. – Agriculture and forestry.* № 4. 179–186. [in Ukrainian].

12. Mazur O. V., Polishhuk M. I., Tinko V. V (2021). Ocinka gustoti roslin yachmenyu yarogo zalezno vid tehnologichnih prijomiv viroshhuvannya [*Estimation of the density of spring barley plants depending on technological methods of cultivation*]. *Silke gospodarstvo ta lisivnictvo. – Agriculture and forestry*. № 23. 234–243. [in Ukrainian].

13. Klimat Ukrayiny – Ukrayins'kyy Hidromettsentr [*Climate of Ukraine – Ukrainian Meteorological Center*]. Available at: <https://meteo.gov.ua/en/33562/climate/climate/> (appeal date 15.03.2023). [in Ukrainian].

14. Prymak I. D., Polovyi A. M., Hamalii I. P. (2008). Silskohospodarska meteorolohiia ta klimatolohiia [*Agricultural meteorology and climatology*]. Bila Tserkva. [in Ukrainian].

15. Prister B. S. (1997) Dovidnik dlya radiologichnih sluzhb Minsilgosprodu Ukrayini [*Handbook for radiological services of the Ministry of Agriculture and Food of Ukraine*]. Kiyiv. 175. [in Ukrainian].

#### ANNOTATION

#### **THE INFLUENCE OF THE LEVEL OF SOIL MOISTURE ON THE TRANSLOCATION OF Zn AND Cu IN GRAIN OF WINTER CEREALS IN THE CONDITIONS OF THE FOREST STEPPE OF THE RIGHT BANK**

*The attention of almost the entire world community is focused on the problem of food security. In many countries of the world, the lack of food resources is acutely felt, the main source of which is grain farming. Ukraine is distinguished among other countries by its favorable soil and climatic conditions for the cultivation of cereals, it has the appropriate technologies, and qualified workers. Therefore, the production of grain products is one of the main directions of the agro-industrial complex of Ukraine, which is subject to certain quality requirements.*

*The article examines the influence of the level of soil moisture (precipitation and irrigation) on the content and coefficient of accumulation and danger of Zn and Cu in the grain of winter wheat and winter barley.*

*The purpose of the study is to study the influence of the level of soil moisture (precipitation and irrigation) on the content of the coefficient of accumulation and danger of Zn and Cu in the grain of winter wheat and winter barley in the conditions of the right-bank forest-steppe.*

*An increase in the coefficient of accumulation of Zn and a decrease in the coefficient of accumulation of Cu in cereal grains contributed to an increase in the concentration of Zn and a decrease in Cu under such conditions, this feature was established both in winter barley of the variety (Luran) and in winter wheat of the variety (Akratos). In particular, at the level of soil irrigation in the period of tillering-earring of winter barley and winter wheat from 256.2 mm to 272.5 mm, the concentration of Zn in the grain of these cereals was 1.07 times higher, and the concentration of Cu was 1.05 times lower in winter barley grain, and in winter wheat grain, the concentration of Zn was 1.14 times higher and 1.15 times lower than the concentration of Cu, respectively, compared to the moisture level of 47.4 mm and 52.3 mm.*

*The coefficient of danger of heavy metals in the grain of winter cereals at the level of soil moisture from 256.2 mm. to 272.5 mm in the tillering-earring period was higher in Zn and lower in Cu compared to the moisture level of 47.4 mm–52.3 mm. An increase in the hazard ratio of Zn by 1.06 times and a decrease in the hazard ratio of Cu by 1.15 times in winter barley grains and an increase by 1.15 and a decrease by 1.16 times in winter wheat grains, respectively.*

*During the artificial moistening of the soil during the growing season in the period of tillering-earring until the grain is milky, an increase in these Zn indicators and a decrease in Cu were observed in both winter barley and winter wheat grains.*

**Key words:** soil, grain, barley, wheat, heavy metals, Zn, Cu, precipitation, artificial irrigation, accumulation factor, hazard factor.

**Table 4. Fig. 1. Lit. 15.**

### **Інформація про автора**

**Гусак Оксана** – аспірант кафедри екології та охорони навколишнього середовища Вінницького національного аграрного університету (21008, м. Вінниця, вул. Сонячна, 3; e-mail: vnau.eco@i.ua).

**Husak Oksana** – postgraduate student of Department of Ecology and Environmental Protection of the Vinnytsia National Agrarian University (21008, Vinnytsia, Soniachna St.3; e-mail: vnau.eco@i.ua).