

Паламарчук Р. П., перший заступник генерального директора (Державна установа «Інститут охорони ґрунтів України», м. Київ; rgp777@ukr.net). **Городиська І. М.**, к.с.-г.н., с.н.с., завідувач відділу, **Безноско І. В.**, д.б.н., с.н.с., зав. лабораторії (Інститут агроєкології і природокористування НААН, м. Київ, anni0479@gmail.com, beznoskoirina@gmail.com)

ВМІСТ МІКРОЕЛЕМЕНТІВ У ДЕРНОВО-ПІДЗОЛИСТОМУ ҐРУНТІ ТА ОСНОВНІЙ ПРОДУКЦІЇ КУЛЬТУР П'ЯТИПІЛЬНОЇ СІВОЗМІНИ ЗАЛЕЖНО ВІД НОРМ УДОБРЕННЯ

Дослідження проведено на дерново-підзолистому ґрунті у стаціонарному досліді з вивчення впливу норм удобрення на вміст мікроелементів у ґрунті та основній продукції культур п'ятипільної зерно-просапної сівозміни, закладеному в 2015 році (с. Христинівка Народицького району Житомирської області), територія якого належить до другої зони радіоактивного забруднення.

Технологія вирощування сільськогосподарських культур у досліді загальноприйнята і рекомендована для зони проведення досліджень. На передбачених схемою досліджень варіантах застосовували хімічні засоби захисту рослин для вирощування конкурентоспроможної товарної продукції.

Результати досліджень, проведених у стаціонарному польовому досліді впродовж 2015–2019 рр., переконливо свідчать про те, що застосовані норми удобрення під сільськогосподарські культури п'ятипільної зерно-просапної сівозміни (овес – люпин – тритикале яре – буряки кормові – кукурудза на зерно) в період проведення досліджень і фактор сівозміни мали значний ефект на вміст мікроелементів у дерново-підзолистому ґрунті та отриманій основній продукції рослинництва. Зокрема, виявлено, що забезпеченість ґрунту мікроелементами в середньому по сівозмінах була низькою або дуже низькою: Cu – 0,091 мг/кг, Co – 0,158 мг/кг, Mn – 6,15 мг/кг, Zn – 2,27 мг/кг, B – 0,87 мг/кг, Mo – 0,083 мг/кг. Кращі показники були при внесенні добрив, зокрема другої норми, однак питання мікроелементного підживлення є актуальним, особливо для чутливих культур, таких як овес, люпин і тритикале.

Встановлено, що вміст мікроелементів у основній продукції культур п'ятипільної сівозміни був у межах ГДК для кормів і продовольчих цілей. Найбільше накопичення міді зафіксовано у зерні тритикале (4,84 мг/кг), цинку – люпину (40,61 мг/кг), кобальту, марганцю та заліза – у коренеплодах буряків кормових (0,923; 30,05 і 50,85 мг/кг відповідно). Ефективнішою виявилася друга норма добрив. Найменший вміст мікроелементів був у зерні кукурудзи.

Ключові слова: продуктивність; якість; інтенсифікація; агроценоз; екологічна безпека; землеробство.

Постановка проблеми. На сучасному етапі аграрної науки проблема оптимізації структури посівних площ і добору культур у сівозмінах різної ротації залишається недостатньо теоретично та практично обґрунтованою. Це особливо стосується дерново-підзолистих ґрунтів, які вирізняються низьким рівнем природної родючості та потребують застосування комплексу агротехнічних заходів для забезпечення стабільної продуктивності [1; 2].

В умовах обмеженої кількості органічних добрив, зокрема гною, що традиційно розглядався як ключовий елемент системи удобрення, надзвичайної актуальності набуває питання раціонального управління поживним режимом ґрунту [3; 4].

У зв'язку з цим виникає необхідність удосконалення короткоротаційних сівозмін шляхом оптимізації набору вирощуваних культур. Особливу увагу слід приділяти їх агробіологічним властивостям – здатності до накопичення продуктивної вологи, біологічного азоту, а також ефективному використанню добрив і мікроелементів для підтримання збалансованого поживного режиму ґрунту [5].

Таким чином, дослідження є актуальними й своєчасними, в них передбачалося встановлення впливу норм удобрення на вміст мікроелементів у дерново-підзолистому ґрунті та основній продукції культур п'ятипільної зерно-просапної сівозміни.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дерново-підзолисті ґрунти формуються під умовами надмірного зволоження та промивного типу водного режиму, що обумовлює активні процеси вилугування й підзолистості. Для них характерні: кисла реакція ґрунтового розчину (рН 4,5–5,5), низький вміст гумусу (зазвичай 1,0–1,5%), мала ємність катіонного обміну, що обмежує акумуляцію

поживних речовин, переважання легкого гранулометричного складу (піски й супіски), що посилює вимивання катіонів. Такі ґрунти, поширені в зоні Полісся, є об'єктом численних агрохімічних і ґрунтознавчих досліджень у зв'язку з їхньою низькою родючістю та специфічним режимом мікроелементів.

За результатами *Національної доповіді про стан ґрунтів України* [6], встановлено, що ґрунтовий покрив Полісся характеризується дефіцитом рухомих форм цинку, бору та молібдену. Цей дефіцит зумовлений, з одного боку, кислою реакцією ґрунтового середовища, а з іншого – низькою ємністю катіонного обміну, що обмежує акумуляцію поживних речовин. Просторовий аналіз показав значне поширення зон нестачі цинку, що прямо корелює зі зниженням урожайності культур.

У *періодичній доповіді ІОГУ* уточнено критерії оцінки забезпеченості ґрунтів мікроелементами. Підкреслено, що в дерново-підзолистих ґрунтах рухомі форми бору й молібдену є вкрай нестабільними та значною мірою залежать від вапнування: нейтралізація кислотності сприяє їхній мобілізації та доступності для рослин [7].

Отже, Національні та періодичні доповіді ІОГУ підтверджують системний дефіцит мікроелементів у ґрунтах Полісся. Найбільш проблемними є:

- *цинк (Zn)* – один із найдефіцитніших елементів. Його нестача пов'язана з низьким вмістом органічної речовини, кислою реакцією та слабкою буферністю. Дефіцит Zn прямо впливає на врожайність зернових і кормових культур;
- *бор (B)* – в умовах кислої реакції бор легко вимивається у нижні горизонти. Недостатність бору особливо небезпечна для буряків, ріпаку та картоплі;
- *молібден (Mo)* – малорухомий у кислих ґрунтах, через що доступність для рослин різко знижується. Дефіцит Mo негативно позначається на бобових культурах, які потребують його для азотфіксації;
- *кобальт (Co) та мідь (Cu)* – спостерігається низька забезпеченість, що обмежує розвиток бобових та впливає на вміст протеїну в зерні.

Дослідження польських учених (*Polish J. Soil Sci.*) засвідчують, що природний фон Pb, Cd, Hg, Cu у дерново-підзолистих ґрунтах є

низьким. Однак техногенні джерела (промислові викиди, транспорт, локальні забруднення) можуть призводити до накопичення цих елементів на рівнях, небезпечних для агросистем [8].

За даними *Alloway*, найбільш уразливими до цинкового дефіциту є кислі піщані та супіщані ґрунти з низьким вмістом органічної речовини. Ця характеристика повністю відповідає властивостям дерново-підзолистих ґрунтів Полісся [9].

Kabata-Pendias & Pendias стверджують, що кислі умови різко знижують доступність молібдену та бору, але підвищують рухомість марганцю й цинку. Така подвійність зумовлює агрономічні труднощі: одночасне внесення добрив може викликати антагонізм елементів [10].

Таким чином, ці особливості створюють значні агрономічні ризики – передусім зниження врожайності культур і погіршення їх мінерального складу. Для компенсації дефіциту мікроелементів необхідним є диференційоване внесення мікродобрив з урахуванням просторової неоднорідності ґрунтового покриття та агроекологічних умов.

Мета і завдання дослідження. Мета досліджень полягає у встановленні впливу норм добрив на вміст мікроелементів у дерново-підзолистому ґрунті та основній продукції культур п'ятипільної зерно-просапної сівозміни.

Дослідження з вивчення впливу норм удобрення та сівозмінного фактору на вміст мікроелементів у ґрунті та основній продукції сільськогосподарських культур проводили в стаціонарному досліді на території с. Христинівка Народицького району Житомирської області, яке належить до другої зони радіоактивного забруднення, впродовж 2015–2019 рр.

Повторення дослідів – триразове. Розмір дослідної ділянки – 28 м², облікової – 18 м². Розміщення ділянок – систематичне.

Технологія вирощування сільськогосподарських культур у досліді загальноприйнята і рекомендована для зони проведення досліджень.

Сільськогосподарські культури вирощували в п'ятипільній зерно-просапній сівозміні з наступним чергуванням: овес – люпин – тритикале яре – буряки кормові – кукурудза на зерно за відповідних норм удобрення, передбачених робочою програмою (без добрив (контроль), перша норма та друга норма добрив). Розрахунок азотних

добрив проводився під кожен культуру на запланований урожай. Норма фосфорних добрив збільшена у 1,5 рази, а калійних добрив – у 2 рази у третьому варіанті.

Лабораторні дослідження ґрунтових та рослинних зразків проводили за загальноприйнятими методиками у лабораторіях Житомирської філії державної установи «Інститут охорони ґрунтів України», зокрема, вміст мікроелементів згідно з нормативними документами і методичними вказівками [11; 12].

Результати. Надзвичайно важливими та необхідними є мікроелементи, які стимулюють ріст рослин і прискорюють їх розвиток, впливають на стійкість до несприятливих умов зовнішнього середовища, підвищують урожайність рослин і якість отриманої продукції, а найголовніше, що вони входять до складу ферментів, які є каталізаторами біохімічних процесів.

За результатами проведених досліджень і лабораторних аналізів визначено, що вміст міді, в середньому за 2015–2019 рр., знаходився на дуже низькому рівні, який варіював від 0,085 до 0,103 мг/кг ґрунту залежно від досліджуваних факторів. Зокрема, норми добрив забезпечили дещо більший вміст міді порівняно до контролю (без застосування добрив) за вищих показників при застосуванні другої норми добрив під посівами вівса та кукурудзи. У посівах люпину, тритикале та буряків кормових кращим варіантом виявилася перша норма добрив. Середнє значення по варіантах досліджу становить 0,091 мг/кг ґрунту, а коефіцієнт варіації 5,5% (табл. 1).

Таблиця 1

Вміст рухомих сполук мікроелементів у ґрунті, мг/кг, середнє за 2015–2019 рр.

Удобрення	Cu	Co	Mn	Zn	B	Mo
Овес Чернігівський 27						
Без добрив (контроль)	0,086	0,158	4,89	2,43	0,85	0,082
N ₇₀ P ₆₀ K ₆₀	0,090	0,160	5,06	2,63	0,88	0,083
N ₇₀ P ₉₀ K ₁₂₀	0,098	0,164	5,25	2,97	0,88	0,083
Люпин Індустріальний						
Без добрив (контроль)	0,090	0,166	4,77	1,84	0,83	0,081
N ₃₀ P ₄₀ K ₅₀	0,090	0,162	5,24	1,97	0,87	0,081
N ₃₀ P ₆₀ K ₁₀₀	0,085	0,157	5,43	1,97	0,82	0,084

продовження табл. 1

Тритикале яре Аіст Харківський						
Без добрив (контроль)	0,087	0,140	5,27	2,59	0,87	0,084
N ₉₀ P ₆₀ K ₈₀	0,088	0,135	5,39	1,98	0,91	0,085
N ₉₀ P ₉₀ K ₁₆₀	0,086	0,149	5,08	1,75	0,92	0,085
Буряки кормові Екендорфський жовтий						
Без добрив (контроль)	0,092	0,154	4,62	2,03	0,85	0,081
N ₁₂₀ P ₁₀₀ K ₁₆₀	0,097	0,160	5,98	2,04	0,89	0,081
N ₁₂₀ P ₁₅₀ K ₃₂₀	0,090	0,154	9,47	1,77	0,89	0,089
Кукурудза Харківська 195 МВ						
Без добрив (контроль)	0,089	0,171	6,59	2,50	0,85	0,081
N ₁₂₀ P ₁₀₀ K ₈₀	0,095	0,161	9,69	3,01	0,88	0,082
N ₁₂₀ P ₁₅₀ K ₁₆₀	0,103	0,175	9,48	2,58	0,90	0,088
Середнє	0,091	0,158	6,15	2,27	0,87	0,083
S_x	0,001	0,003	0,47	0,11	0,01	0,001
V, %	5,5	6,7	29,7	18,7	3,1	3,1
S	0,005	0,011	1,82	0,42	0,03	0,003

Вміст рухомих сполук кобальту також був на дуже низькому рівні, де цей показник становив від 0,135 до 0,175 мг/кг ґрунту за всіма варіантами дослідів. Норми добрив мали деякий позитивний вплив, зокрема дещо більший вміст кобальту був під посівами кукурудзи, тритикале ярого та вівса за другої норми добрив, тоді як за першої – посіви буряків кормових порівняно до контролю. У посівах люпину кращим був варіант без застосування добрив. Середнє значення по варіантах дослідів становить 0,158 мг/кг ґрунту за коефіцієнта варіації 6,7%.

За результатами лабораторних аналізів визначено, що вміст рухомих сполук марганцю в дерново-підзолистому ґрунті був дещо вищим порівняно з міддю та кобальтом, але його вміст залишався на низькому рівні забезпеченості.

Так, вміст марганцю, в середньому за 2015–2019 рр., знаходився на рівні від 4,62 до 9,69 мг/кг ґрунту за найвищих показників забезпеченості в посівах кукурудзи, а найменше – у посівах вівса. Таку суттєву різницю по культурах сівозміни чітко видно за коефіцієнтом варіації, який становить 29,7%. Норми добрив мали позитивний вплив

на вміст рухомих сполук марганцю за вищих значень при застосуванні другої норми, що на 12–30% більше ніж на контролі.

Вміст рухомих сполук цинку був дещо вищим по рівню забезпеченості, де середнє значення становило 2,27 мг/кг, а за варіантами досліду – від 1,75 до 3,01 мг/кг ґрунту. Поміж досліджуваних культур п'ятипільної зерно-просапної сівозміни найбільшим вмістом цього елемента відзначилися посіви кукурудзи (2,50–3,01 мг/кг) та вівса (2,43–2,97 мг/кг ґрунту), а найнижчим – посіви люпину. Кращою нормою добрив по забезпеченості цинку в дерново-підзолистому ґрунті виявилася перша норма.

Згідно з отриманими результатами видно, що вміст рухомих сполук молібдену був на дуже низькому рівні, цей показник знаходився в межах від 0,081 до 0,089 мг/кг ґрунту. Суттєвої різниці по варіантах досліду не виявлено, про що свідчить коефіцієнт варіації, який знаходиться в дуже вузькому проміжку та становить лише 3,1%.

Така ж тенденція відбувалася й по вмісту бору, де різниця по варіантах була незначною ($V = 3,1\%$), а вміст рухомих сполук бору був на рівні 0,82–0,92 мг/кг ґрунту. Дещо більшою забезпеченістю відзначилася друга норма добрив, а серед досліджуваних культур – тритикале яре (табл. 1).

Також були проведені дослідження з визначення вмісту мікроелементів у основній продукції рослинництва сільськогосподарських культур п'ятипільної зерно-просапної сівозміни. Згідно з отриманими даними лабораторних аналізів визначено, що вміст мікроелементів, у середньому за 2015–2019 рр., не перевищував гранично допустимих концентрацій по всіх елементах. Зокрема, вміст міді за різних норм добрив і культур сівозміни був на рівні від 2,71 до 4,84 мг/кг, а середнє значення 3,58 мг/кг за найбільшого вмісту в зерні тритикале ярого: 4,41 мг/кг за першої норми, 4,84 за другої норми добрив і 4,47 мг/кг на контролі, при цьому ГДК становить 10,0 мг/кг, що пов'язано з морфологічними особливостями культури щодо накопичення цього елемента. Найменший же вміст міді був у зерні кукурудзи – 2,71 мг/кг на варіанті без внесення добрив, 2,77 за першої норми та 2,84 мг/кг за другої норми добрив. Коефіцієнт варіації за вмістом міді по досліді – 18,7%.

Встановлено, що більший вміст міді був зафіксований за застосування другої норми добрив, де цей показник був у межах від 2,84 до 4,84 мг/кг за всіма досліджуваними культурами п'ятипільної

сівозміни, тоді як за першої норми – 2,77–4,41 мг/кг за найменшого накопичення на контролі – 2,71–4,47 мг/кг, що на 2–4% менше ніж за першої та на 5–8% менше ніж за другої норми добрив, що вказує на ефективність досліджуваних норм добрив (табл. 2).

Вміст цинку за всіма культурами сівозміни та різних норм добрив був на рівні від 19,36 до 40,61 мг/кг за ГДК 50,0 мг/кг. Найбільший вміст цинку зафіксовано в зерні люпину – 39,23 мг/кг за першої норми та 40,61 мг/кг за другої норми добрив, тоді як на контролі цей показник становив 39,15 мг/кг, що на 0,08 та 1,46 мг/кг менше ніж за першої та другої норм відповідно.

Найнижче накопичення цинку було в зерні кукурудзи – 19,36–21,14 мг/кг за більшого вмісту при застосуванні другої норми добрив. Достатньо низький вміст цинку був у зерні вівса 28,74–31,92 мг/кг за дещо більшого накопичення цього елементу при першій нормі добрив.

Таблиця 2

Вміст мікроелементів у основній продукції культур п'ятипільної сівозміни, мг/кг, середнє за 2015–2019 рр.

Удобрєння	Cu	Co	Mn	Zn	Fe
Овес Чернігівський 27					
Без добрив	3,11	0,594	23,09	28,74	36,99
N ₇₀ P ₆₀ K ₆₀	3,02	0,600	23,41	31,92	38,70
N ₇₀ P ₉₀ K ₁₂₀	3,13	0,638	24,27	29,25	38,43
Люпин Індустріальний					
Без добрив	3,41	0,586	19,76	39,15	32,53
N ₃₀ P ₄₀ K ₅₀	3,73	0,592	19,52	39,23	32,64
N ₃₀ P ₆₀ K ₁₀₀	4,14	0,578	19,45	40,61	35,05
Тритикале яре Аїст Харківський					
Без добрив	4,47	0,474	17,46	30,77	30,02
N ₉₀ P ₆₀ K ₈₀	4,41	0,480	19,26	31,66	30,82
N ₉₀ P ₉₀ K ₁₆₀	4,84	0,511	19,65	31,58	32,22
Буряки кормові Екендорфський жовтий					
Без добрив	3,54	0,864	24,24	35,75	45,78
N ₁₂₀ P ₁₀₀ K ₁₆₀	3,63	0,848	29,23	35,33	48,68
N ₁₂₀ P ₁₅₀ K ₃₂₀	3,98	0,923	30,05	37,25	50,85
Кукурудза Харківська 195 МВ					
Без добрив	2,71	0,594	23,68	19,36	22,07
N ₁₂₀ P ₁₀₀ K ₈₀	2,77	0,629	23,54	19,95	22,37
N ₁₂₀ P ₁₅₀ K ₁₆₀	2,84	0,674	23,87	21,14	22,87

продовження табл. 2

ГДК	10,0	2,0	150,0	50,0	50,0
Середнє	3,58	0,639	22,70	31,45	34,67
Sx	0,17	0,035	0,93	1,78	2,31
V, %	18,7	21,3	15,9	22,0	25,8
S	0,67	0,136	3,62	6,91	8,94

Середній вміст по досліді був у межах 31,45 мг/кг, а коефіцієнт варіації – 22,0%.

За результатами отриманих даних видно, що вміст кобальту був на рівні від 0,474 до 0,923 мг/кг залежно від досліджуваних норм добрив і культури в сівозміні (ГДК – 2,0 мг/кг). Середнє значення по досліді становить 0,639 мг/кг. Найбільше накопичення кобальту було зафіксоване в коренеплодах буряків кормових, де цей показник був у межах 0,864 мг/кг на контролі, 0,848 за першої норми та 0,923 мг/кг за другої норми добрив відповідно, що на 0,075 мг/кг більше порівняно до першої норми та на 0,059 мг/кг більше ніж на контролі. Це свідчить про ефективність досліджуваних норм добрив.

Серед зернових злакових культур найбільше накопичення кобальту, в середньому за п'ять років, було в зерні вівса (0,594 мг/кг – контроль, 0,600 – перша норма, 0,638 мг/кг – друга норма добрив) та кукурудзи (0,594 мг/кг – контроль, 0,629 – перша норма, 0,674 мг/кг – друга норма добрив). Найменший же вміст кобальту поміж досліджуваних культур п'ятипільної сівозміни був у зерні тритикале ярого, де цей показник знаходився у межах 0,474 мг/кг на контролі, 0,480 за першої норми та 0,511 мг/кг за другої норми добрив. Коефіцієнт варіації за вмістом кобальту по досліді становить 21,3%.

За результатами отриманих даних лабораторних аналізів визначено, що вміст марганцю залежно від норм добрив і культур п'ятипільної зерно-просапної сівозміни знаходився на рівні від 17,46 до 30,05 мг/кг (ГДК – 150,0 мг/кг) за найвищого вмісту марганцю в коренеплодах буряків кормових, де накопичення цього елемента становило 24,24 мг/кг на контролі, 29,23 за першої норми та 30,05 мг/кг за другої норми добрив, що на 5,81 мг/кг більше ніж на контролі. Серед зернових культур найбільше накопичення марганцю було в зерні вівса (23,09 мг/кг – контроль, 23,41 – перша норма, 24,27 мг/кг – друга норма добрив) та кукурудзи (23,68 мг/кг – контроль, 23,54 – перша норма, 23,87 мг/кг – друга норма добрив), що

вказує на достатньо високу ефективність застосовуваних норм добрив. Середнє значення по досліді становить 22,70 мг/кг, а коефіцієнт варіації – відповідно 15,9%.

Вміст заліза за всіма культурами сівозміни та різних норм добрив, у середньому за 2015–2019 рр., був на рівні від 22,07 до 50,85 мг/кг за ГДК 50,0 мг/кг. Найбільший вміст заліза поміж досліджуваних культур п'ятипільної сівозміни був у коренеплодах буряків кормових, де цей показник становив 45,78 мг/кг на контролі, 48,68 за першої норми добрив, що наближено до ГДК та 50,85 мг/кг за другої норми добрив, що перевищує ГДК на 0,85 мг/кг відповідно та більший вміст на 5,07 мг/кг ніж на контролі. Найменше накопичення заліза було в зерні кукурудзи (22,07 мг/кг – контроль, 22,37 – перша норма, 22,87 мг/кг – друга норма добрив). Вміст заліза в зерні вівса, люпину та тритикале незалежно від норм добрив знаходився у межах від 30,02 до 38,70 мг/кг відповідно, що вказує на високу ефективність досліджуваних факторів. Середній вміст по досліді становить 34,67 мг/кг. Коефіцієнт варіації – 25,8% відповідно (табл. 2).

Висновки. За результатами досліджень виявлено, що забезпеченість ґрунту мікроелементами, в середньому за 2015–2019 рр., була низькою або дуже низькою: Cu – 0,091 мг/кг, Co – 0,158 мг/кг, Mn – 6,15 мг/кг, Zn – 2,27 мг/кг, B – 0,87 мг/кг, Mo – 0,083 мг/кг. Дещо кращі показники були при внесенні добрив, зокрема другої норми, однак навіть за цих умов значення не досягали оптимальних рівнів, особливо для чутливих культур, як-от овес, люпин і тритикале.

Згідно з отриманими даними лабораторних аналізів встановлено, що вміст мікроелементів (мідь, цинк, кобальт, марганець, залізо) у основній продукції культур п'ятипільної сівозміни був у межах ГДК для кормів і продовольчих цілей. Найбільше накопичення міді зафіксовано у зерні тритикале (до 4,84 мг/кг), цинку – у люпину (до 40,61 мг/кг), кобальту, марганцю та заліза – у коренеплодах буряків кормових (до 0,923 мг/кг, 30,05 та до 50,85 мг/кг відповідно). Загалом більш ефективнішою була друга норма добрив, що сприяла підвищенню засвоєння мікроелементів, особливо за високої біологічної потреби культур. Найменший вміст елементів накопичувався в зерні кукурудзи.

землеробства НААН». 2015. Вип 2. С. 3–15. **2.** Агроекономічне та екологічне оцінювання сівозміни : наукове видання / за ред. Харченка О. В., Міщенко Ю. Г. Суми : Мрія. 2015. 70 с. **3.** Гамаюнова В. В., Хоненко Л. Г., Бакланова Т. В., Коваленко О. А., Пилипенко Т. В. Сучасні підходи до застосування мінеральних добрив за збереження ґрунтової родючості в умовах зміни клімату. *Наукові горизонти*. Житомир, 2020. № 02(87). С. 90–101. **4.** Камінський В. Ф. Наукові основи оптимізації живлення рослин в сучасних системах землеробства. *Землеробство : міжвідомчий тематичний науковий зб.* 2018. Вип. 2. С. 3–6. **5.** Гандзало Я., Камінський В., Сайко В. Сівозміни в землеробстві України. *Аграрний тиждень : Всеукраїнський діловий журнал*. 2015. № 4–5. С. 14–16. **6.** Національна доповідь про стан родючості ґрунтів України / за ред. С. А. Балюка та ін. Київ, 2010. 111 с. **7.** Періодична доповідь про стан ґрунтів на землях сільськогосподарського призначення України (2011–2015 рр.). Х тур. ДУ «Інститут охорони ґрунтів України». Київ, 2020. 207 с. **8.** Kowalska J., Mazurek R. Heavy metals in sod-podzolic loam soils. *Polish Journal of Soil Science*. 2015. Vol. 48, № 2. P. 121–134. **9.** Alloway B. J. Zinc in Soils and Crop Nutrition. 2nd ed. Paris : International Fertilizer Industry Association; Brussels: International Zinc Association. 2014. 139 p. **10.** Kabata-Pendias A., Pendias H. Trace Elements in Soils and Plants. 3rd ed. Boca Raton : CRC Press, 2001. 403 p. **11.** ДСТУ 4770 (1,2,4,5,6)-2007. Якість ґрунту. Визначення вмісту рухомих сполук Mn, Zn, Fe, Co, Cu в буферній ацетатно-амонійній витяжці з рН 4,8 методом атомно-абсорбційної спектrophотометрії. [Чинний від 2009–01–01]. Київ : Держспоживстандарт України, 2005. **12.** Методика проведення агрохімічної паспортизації земель сільськогосподарського призначення: керівний нормативний документ / за ред. Яцука І. П., Балюка С. А. 2-ге вид., допов. Київ, 2019. 108 с.

REFERENCES:

1. Kaminskyi V. F. Sivozmina yak osnova staloho zemlekorystuvannia ta prodovolchoi bezpeky Ukrainy. *Zbirnyk naukovykh prats NNTs «Instytut zemlerobstva NAAN»*. 2015. Vyp 2. S. 3–15. **2.** Ahroeekonomichne ta ekolohichne otsiniuvannia sivozminy : naukovе vydannia / za red. Kharchenka O. V., Mishchenka Yu. H. Sumy : Mriia. 2015. 70 s. **3.** Hamaiunova V. V., Khonenko L. H., Baklanova T. V., Kovalenko O. A., Pylypenko T. V. Suchasni pidkhody do zastosuvannia mineralnykh dobryv za zberezhenntia gruntovoi rodiuchosti v umovakh zminy klimatu. *Naukovi horyzonty*. Zhytomyr, 2020. № 02(87). S. 90–101. **4.** Kaminskyi V. F. Naukovi osnovy optymizatsii zhyvlennia roslын v suchasnykh systemakh zemlerobstva. *Zemlerobstvo : mizhvidomchyi tematychnyi naukovyi zb.* 2018. Vyp. 2. S. 3–6. **5.** Handzalo Ya., Kaminskyi V., Saiko V. Sivozminy v zemlerobstvi Ukrainy. *Ahrarnyi tyzhden : Vseukrainskyi*

dilovyi zhurnal. 2015. № 4–5. S. 14–16. **6.** Natsionalna dopovid pro stan rodiuchosti gruntiv Ukrainy / za red. S. A. Baliuka ta in. Kyiv, 2010. 111 s. **7.** Periodychna dopovid pro stan gruntiv na zemliakh silskohospodarskoho pryznachennia Ukrainy (2011–2015 rr.). Kh tur. DU «Instytut okhorony gruntiv Ukrainy». Kyiv, 2020. 207 s. **8.** Kowalska J., Mazurek R. Heavy metals in sod-podzolic loam soils. *Polish Journal of Soil Science*. 2015. Vol. 48, № 2. P. 121–134. **9.** Alloway B. J. Zinc in Soils and Crop Nutrition. 2nd ed. Paris : International Fertilizer Industry Association; Brussels: International Zinc Association. 2014. 139 p. **10.** Kabata-Pendias A., Pendias H. Trace Elements in Soils and Plants. 3rd ed. Boca Raton : CRC Press, 2001. 403 p. **11.** DSTU 4770 (1,2,4,5,6)-2007. Yakist gruntu. Vyznachennia vmistu rukhomykh spoluk Mn, Zn, Fe, Co, Cu v bufernii atsetatno-amoniinii vytiazhti z pH 4,8 metodom atomno-absorbtsiinoi spektrofotometrii. [Chynnyi vid 2009–01–01]. Kyiv : Derzhspozhyvstandart Ukrainy, 2005. **12.** Metodyka provedennia ahrokhimichnoi pasportyzatsii zemel silskohospodarskoho pryznachennia: kerivnyi normatyvnyi dokument / za red. Yatsuka I. P., Baliuka S. A. 2-he vyd., dopov. Kyiv, 2019. 108 s.

Palamarchuk R. P., First Deputy General Director (State Institution «Institute of Soil Protection of Ukraine», Kyiv), **Horodyska I. M., Candidate of Agricultural Sciences (Ph.D.), Senior Research Fellow, Department Head,** **Beznosko I. V., Doctor of Biological Sciences (Ph.D.), Senior Research Fellow, Head of the Laboratory** (Institute of Agroecology and Environmental Management of NAAS, Kyiv)

TRACE ELEMENT CONTENT IN SOD-PODZOLIC SOIL AND MAIN CROP PRODUCTS IN A FIVE-FIELD CROP ROTATION AS AFFECTED BY FERTILIZER RATES

A stationary field experiment was conducted on sod-podzolic soil to determine the effect of fertilizer application rates on the concentration of trace elements in soil and major crop products within a five-field grain–row crop rotation. The trial was established in 2015 in Khrystynivka village (Narodychi district, Zhytomyr region, Ukraine), located within the second zone of radioactive contamination. The cultivation practices followed standard technologies recommended for the region, and chemical crop protection products were applied in accordance with the experimental scheme to ensure competitive marketable yields.

The findings obtained over 2015–2019 clearly indicate that both fertilizer rate and crop rotation structure exerted a significant influence on trace element distribution in the soil and harvested plant products. On average across crop rotations, the soil was characterized by low to very low trace element availability: Cu – 0.091 mg/kg, Co – 0.158 mg/kg, Mn – 6.15 mg/kg, Zn – 2.27 mg/kg, B – 0.87 mg/kg, and Mo – 0.083 mg/kg. Higher values were observed under fertilizer application, particularly at the second rate. Nevertheless, the necessity for additional micronutrient supplementation remains evident, especially for sensitive crops such as oats, lupine, and triticale.

Trace element concentrations in crop products were within maximum permissible limits for feed and food use. The highest copper accumulation occurred in triticale grain (4.84 mg/kg), zinc in lupine seeds (40.61 mg/kg), and cobalt, manganese, and iron in fodder beet roots (0.923, 30.05, and 50.85 mg/kg, respectively). The second fertilizer rate was the most effective overall, whereas maize grain exhibited the lowest trace element content.

Keywords: productivity; quality; intensification; agroecosystem; ecological safety; agriculture.