



Землеробство, грунтознавство, агрохімія

УДК 631.416.8

© 2023

ПРОСТОРОВО-ЧАСОВА НЕРІВНОМІРНІСТЬ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ҐРУНТІВ РУХОМИМИ МІКРОЕЛЕМЕНТАМИ

М.М. Мірошниченко¹, С.С. Коваленко²

¹доктор біологічних наук, член-кореспондент НААН

ННЦ «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О.Н. Соколовського»

вул. Чайковська, 4, м. Харків, 61024, Україна

e-mail: ¹ecosoil@meta.ua, ²stanislawkowalenko@gmail.com

ORCID: ¹0000-0003-2830-5933, ²0000-0001-6834-2259

Надійшла 24.02.2023

Мета. Установити розміри просторового та часового варіювання вмісту рухомих мікроелементів у орному шарі зональних ґрунтів Лівобережного Лісостепу України. **Методи.** Польовий, моніторингу ґрунтів, лабораторно-аналітичний — для визначення в ґрунті рухомих форм мікроелементів методом атомно-абсорбційної спектрометрії за екстрагування амонійно-ацетатним буферним розчином із рН 4,8 та статистичний. Дослідження проводили впродовж 2018–2020 рр. на 2-х ґрунтово-агрохімічних полігонах — «Новий Коротич» і «Дослідне», розташованих на території ДП ДГ «Граківське» ННЦ «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О.Н. Соколовського». Ґрунтовий покрив одного з них становлять чорноземи опідзолені та темно-сірі опідзолені ґрунти, іншого — чорноземи типові та їх різновиди. Кожний із полігонів поділено на 24 ділянки, на яких двічі на рік (квітень – травень і вересень – жовтень) визначали рН сольовий, органічний карбон, вологість та рухомі Zn, Cu, Mn в орному шарі ґрунту. **Результати.** Упродовж періоду досліджень середні параметри рН сольового на першому полігоні варіювали від 4,4 до 5,0, на другому — від 5,8 до 6,1. На першому полігоні середній уміст Zn зростав з весни до осені з 0,63 до 0,81 мг/кг, Cu — з 0,25 до 0,38, Mn — з 20,0 до 27,5 мг/кг. І навпаки, на чорноземах типових уміст Zn зменшувався з весни до осені з 0,79 до 0,52 мг/кг, Cu — з 0,35 до 0,16 мг/кг, Mn істотно не змінювався. Усередині кожного полігона спостерігався дуже високий рівень варіації, особливо для Zn та Cu. Однак осередки концентрації чи збіднення ґрунту на рухомі мікроелементи здебільшого не мали сталого розташування. Просторовий розподіл рН мав істотну від’ємну кореляцію з Mn, а в окремі періоди спостережень — також із Zn. **Висновки.** Рухомі Zn, Cu і Mn мають істотну часову динаміку в орному шарі зональних ґрунтів Лівобережного Лісостепу, яка проявилася в збільшенні їхнього вмісту з весни до осені за кислої реакції середовища та зниженні Zn і Cu за близьких до нейтральних значень рН. Варіабельність мікроелементів усередині кожного полігона

була високою, коефіцієнти варіації становили 25–71% для Zn, 28–76 — Cu та 9–52% — для Mn. Найтісніший від’ємний зв’язок умісту Mn з рН ґрунту (коефіцієнти кореляції –0,4––0,85) відзначали в зразках дослідного полігону «Новий Коротич» за періоди досліджень.

Ключові слова: цинк, мідь, манган, сезонна динаміка, ґрунтово-агрохімічні полігони.

DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202304-01>

Через різноманіття ґрунотворних порід, мінералогічного та хімічного складу, окисно-відновних і кислотно-основних умов ґрунти України мають значні відмінності в забезпеченні доступними для рослин формами фізіологічно необхідних мікроелементів [1]. За результатами XI туру агрохімічного обстеження земель сільськогосподарського призначення у 2016–2020 рр., підвищений, високий і дуже високий рівень забезпечення рухомим Zn мають 2,1% ґрунтів, Cu — 49, Mn — 59,1%, низький і дуже низький рівень — 96%, 34,1 та 23,9% ґрунтів відповідно [2]. Недостатня кількість доступного рослинам Zn в ґрунті спостерігається не лише в Україні, а й у тропічних регіонах із сильно вивітряними ґрунтами, на посушливих територіях і ґрунтах із високим рН або легким гранулометричним складом, що є глобальною проблемою і значно знижує врожайність сільськогосподарських культур, насамперед кукурудзи [3, 4]. Навіть на чорноземних ґрунтах, які характеризуються близькою валовою кількістю мікроелементів порівняно із чорноземами сусідніх країн — Молдови [5], Польщі [6] або світу загалом [7], нерідко виникає їх дефіцит для живлення рослин у критичні фази розвитку.

Дефіцит мікроелементного живлення може бути пов’язаний із погодними чинниками (температурою, опадами) і ґрунтовими — низьким валовим умістом мікроелементів, що здебільшого властиво Поліссю, зі зменшенням розчинності їхніх сполук за лужної (для Zn, Cu, Mn, Fe, Co) або кислої (для Mo) реакції ґрунтового розчину, утворенням осадів гідроокисів, карбонатів, фосфатів тощо [7]. Вплив погодних умов на споживання елементів живлення дуже мінливий у часі, а ґрунтовим чинникам властива неоднорідність у просторі. Тому останніми роками в різних країнах дедалі ширше досліджується питання щодо просторово-часової варіабельності доступних рослинам елементів живлення [8–11], оскільки заходи

поліпшення мікроелементного живлення рослин мають бути максимально конкретизованими для кожного поля. Методологія таких досліджень є переважно геостатистичною з порівнянням різних періодів досліджень, що дає змогу оцінити сталість виявлених осередків кращих умов живлення рослин. Однак на чорноземах досліджень просторово-часової варіабельності елементів живлення проводили мало, особливо стосовно доступних форм мікроелементів.

Мета досліджень — визначити розміри варіювання вмісту рухомих форм мікроелементів у часі та просторі на чорноземах Лівобережного Лісостепу України.

Матеріали та методи досліджень. Дослідження проводили впродовж 2018–2020 рр. на 2-х ґрунтово-агрохімічних полігонах на території ДП ДГ «Граківське» ННЦ «ІГА імені О.Н. Соколовського». Один із них розташований поблизу с. Новий Коротич Харківського р-ну Харківської обл. на частині поля площею 49,3 га (рис. 1), де ґрунтовий покрив становлять чорноземи опідзолені важкосуглинкові (шифр 4) у комплексі з підвищено зволженими (шифр 7) та намитими (шифр 6) різновидами, а також темно-сірі опідзолені важкосуглинкові ґрунти (шифр 1) та їх еродовані (шифр 2) різновиди.

Другим об’єктом дослідження був ґрунтово-агрохімічний полігон поблизу с. Дослідне Чугуївського р-ну Харківської обл., де ґрунтовий покрив представлено переважно чорноземами типовими середньогумусованими важкосуглинковими на лесі (рис. 2). Об’єктом досліджень була частина поля площею 24 га, де переважають чорноземи типові, але є також контури їхніх еродованих (шифр 2) і вилугуваних підвищено зволжених (шифр 3) різновидів.

Полігони було поділено на 24 ділянки з географічною прив’язкою в системі координат, на кожній з яких у центральній частині на пробному майданчику 10×10 м двічі

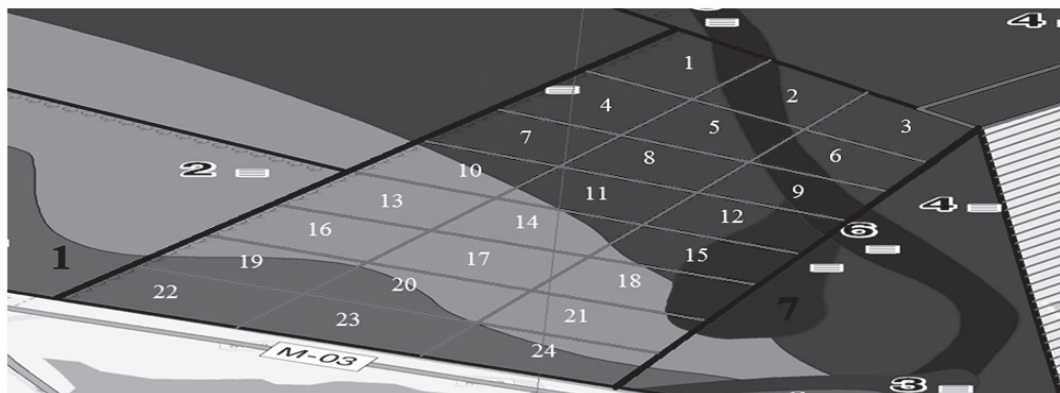


Рис. 1. Ґрунтово-агрохімічний полігон «Новий Коротич»

на рік (квітень—травень і вересень—жовтень) відбирали змішані проби ґрунту, які складалися із 7-ми індивідуальних проб із шару 0–20 см. У пробах ґрунту визначали вологість термостатно-ваговим методом, органічний вуглець — за ДСТУ 4289:2004, рН сольовий — за ДСТУ 7910:2015. Було використано методи польових досліджень, моніторингу ґрунтів, лабораторно-аналітичних досліджень, за якими визначали в ґрунті рухомі форми мікроелементів (методом атомно-абсорбційної спектrophотометрії) за екстрагування амонійно-ацетатним буферним розчином із рН 4,8 [ДСТУ 47790.2:2007; ДСТУ 4770.6:2007; ДСТУ 4770.6:2007]. Результати досліджень обробляли методами математичної статистики (кореляційно-регресійний аналіз) за допомогою програм Statistica, Microsoft Excel та методами геостатистики за допомогою програмних засобів ArcGIS, Surfer та Mapinfo.

Результати досліджень. Обрані для досліджень об'єкти відображають загальну строкатість ґрунтового покриву лісостепової зони, яка проявляється в закономірній послідовності ареалів сірих лісових, темно-сірих опідзолених ґрунтів, чорноземів опідзолених і типових, що пов'язано з континуальними змінами умов зволоження. Відповідно до мезо- і мікрорельєфу та пов'язаного з ним перерозподілу вологи поверхневого стоку ґрунти з різним ступенем диференціації профілю та насиченості основами залягають на невеликій відстані в межах одного поля. Відмінністю чорноземних ґрунтів на об'єктах досліджень є різна вилугуваність профілю від карбонатів: чорноземи опідзолені на об'єкті «Новий Коротич» скипають із глибини ґрунту 70–80 см, чорноземи типові на об'єкті «Дослідне» — 42–46 см. Однак ця межа досить умовна, тому що залежно

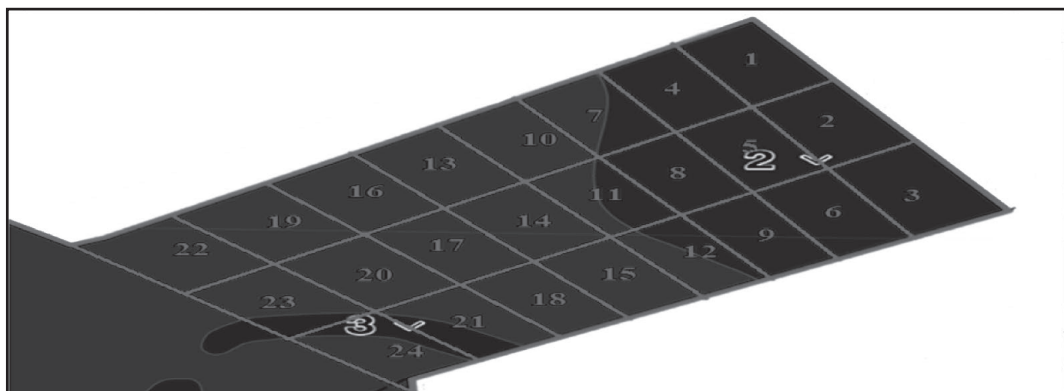


Рис. 2. Ґрунтово-агрохімічний полігон «Дослідне»

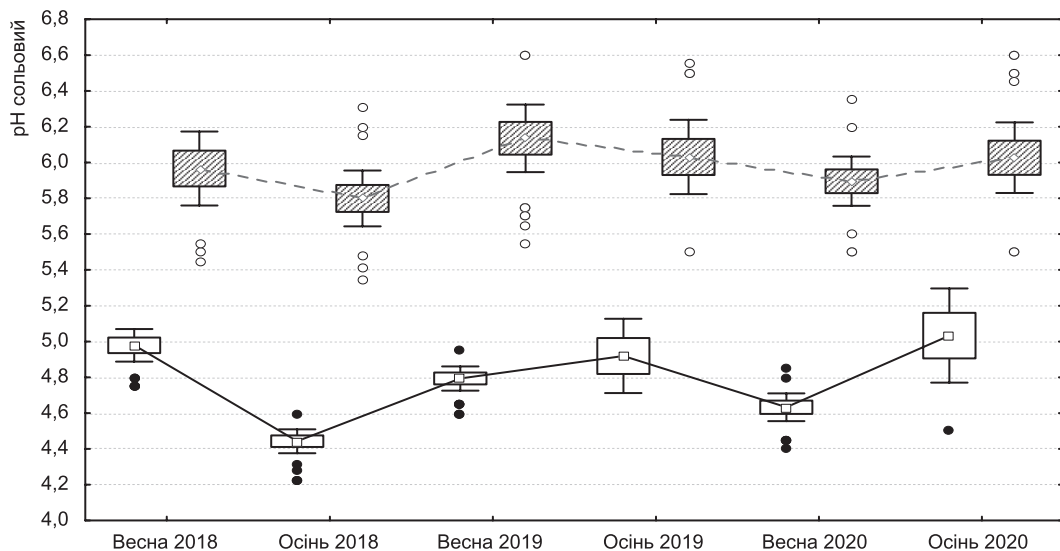


Рис. 3. Динаміка рН сольового в орному шарі на об'єктах досліджень (позначено середній показник рН, стандартну помилку та довірчий інтервал за $p=0,95$): □ — рН («Новий Коротич»); ● — викиди («Новий Коротич»); ■ — рН («Дослідне»); ○ — викиди («Дослідне»)

від чергування циклів висушування — зволоження ґрунту відбувається підтягування чи опускання водорозчинних карбонатів. Це позначається на кислотності орного шару ґрунту: упродовж періоду досліджень середні параметри рН сольового на об'єктах «Новий Коротич» змінювалися від 4,4 до 5,0, на об'єкті «Дослідне» — від 5,8 до 6,1 (рис. 3). Найбільші сезонні коливання рН спостерігали з весни 2018 до весни 2019 рр. Попри вдвічі менший діапазон коливань середнього показника рН на полігоні «Дослідне» є кілька локацій з більш низьким (до 5,4) або високим (до 6,6) рН. Те саме спостерігається й на полігоні «Новий Коротич».

Подібні дані для суглинкових і супіщаних ґрунтів Квебека наводять автори [12], які стверджують, що сезонна варіабельність рН та інших показників родючості перевищує допустимі межі, тому повторне відбирання проб ґрунту має бути в межах 4-тижневого періоду відносно дати початкового обстеження. На нашу думку, сезонні коливання рН значно впливатимуть на доступність мікроелементів рослинам, якщо вони перебувають в інтервалі осадження відповідних гідроксидів. Зокрема, осад $Zn(OH)_2$ розчиняється за рН 5,9, а початок осадження гідроксиду Cu^{2+} — за рН 5,6.

Діагностика мікроелементного статусу ґрунтів в Україні передбачає визначення вмісту так званих «рухомих» форм, які екстрагуються ацетатно-амонієм буферним розчином з рН 4,8. Розробниками цього методу [13] встановлено, що таке «м'яке» екстрагування вилучатиме насамперед ті форми мікроелементів, що споживатимуться кореннями рослин за допомогою їхніх кислих ексудатів. Отже, буферний розчин екстрагента вирівнює ґрунти за впливом провідного чинника — кислотності. Природно, що за таких умов різниця між вмістом рухомих мікроелементів у ґрунтах досліджуваних полігонів досить невелика, що підтверджують середні значення за 2018–2020 рр. (табл. 1).

Згідно з чинними градаціями, прийнятими за агрохімічної паспортизації [14], обидва об'єкти мають дуже низький рівень забезпечення рухомих Zn. Забезпеченість Cu є дещо кращою на чорноземах типових полігона «Дослідне», які мають вищий вміст органічного карбону (3,05% проти 1,94% на полігоні «Новий Коротич»). І навпаки, забезпеченість Mn є дещо кращою на опідзолених ґрунтах полігона «Новий Коротич», що пов'язано з особливостями їхнього генезису. Загалом на об'єкті «Новий Коротич»

1. Сезонні відмінності вмісту рухомих форм мікроелементів у ґрунті

Об'єкт	Статистичні показники	Уміст мікроелементів, мг/кг ґрунту		
		Весна	Осінь	Загалом
«Новий Коротич»		Zn		
	Середнє	0,52	0,79	0,65
	Стандартна помилка	0,03	0,05	0,03
	t-критерій Стьюдента*	2,71		–
		Cu		
	Середнє	0,16	0,35	0,26
	Стандартна помилка	0,02	0,03	0,02
	t-критерій Стьюдента	5,85		–
		Mn		
	Середнє	20,0	27,5	23,7
«Дослідне»	Стандартна помилка	0,51	1,01	0,57
	t-критерій Стьюдента	4,93		–
		Zn		
	Середнє	0,81	0,63	0,72
	Стандартна помилка	0,06	0,06	0,04
	t-критерій Стьюдента	2,21		–
		Cu		
	Середнє	0,38	0,25	0,31
	Стандартна помилка	0,04	0,01	0,02
	t-критерій Стьюдента	2,17		–
		Mn		
	Середнє	18,9	17,0	18,0
	Стандартна помилка	0,41	0,41	0,35
	t-критерій Стьюдента	0,86		–

* Критичне значення t-критерію за $p=0,05$ дорівнює 1,99.

середній уміст усіх мікроелементів у ґрунті восени виявився істотно вищим, ніж на весні, що підтверджується результатами парного 2-вибіркового t-тесту. На відміну від цього, уміст Zn та Cu в близьких до нейтрального pH чорноземах типових на об'єкті «Дослідне» знижувався в осінній період.

При цьому впродовж періоду досліджень уміст мікроелементів у ґрунтах обох полігонів постійно змінювався (рис. 4, 5), а коефіцієнти варіації становили 25–71% для Zn, 28–76 — Cu та 9–52% — для Mn. Восени 2018 р. було значне підвищення концентрації Zn, Cu, Mn на об'єкті «Новий Коротич» та Mn на об'єкті «Дослідне», у 2019 р. спостерігалася тенденція до більш низьких значень усіх елементів. Сезонні зміни доступних форм Zn та Cu в чорноземах типових і опідзолених відзначалися нами й на інших об'єктах досліджень, що пояснюється

вивільненням під час мобілізації лабільної органічної речовини та коливаннями pH [15]. Аналогічні припущення висувають також дослідники [16]. Автори [17] зазначають, що поповнення ґрунту органічною речовиною істотно впливає на рухомість мікроелементів та їхню динаміку. Згідно з дослідженнями [18], сезонна варіабельність органічної речовини на чорноземі типовому становить 0,42%, лабільного гумусу — 0,18%.

Можливий також вплив інших чинників. Так, за 3-річними спостереженнями сезонної динаміки ґрунту автором [19] встановлено варіювання Cu від 1,4 до 2,7 мг/кг, Mn — 13,9–51,1, Zn — 0,39–2,27 мг/кг, причому останній мав від'ємну кореляцію з доступним фосфором. Рослини та їхні кореневі виділення також можуть посилювати рухомість мікроелементів у ризосферній й загалом у кореневмісній зонах

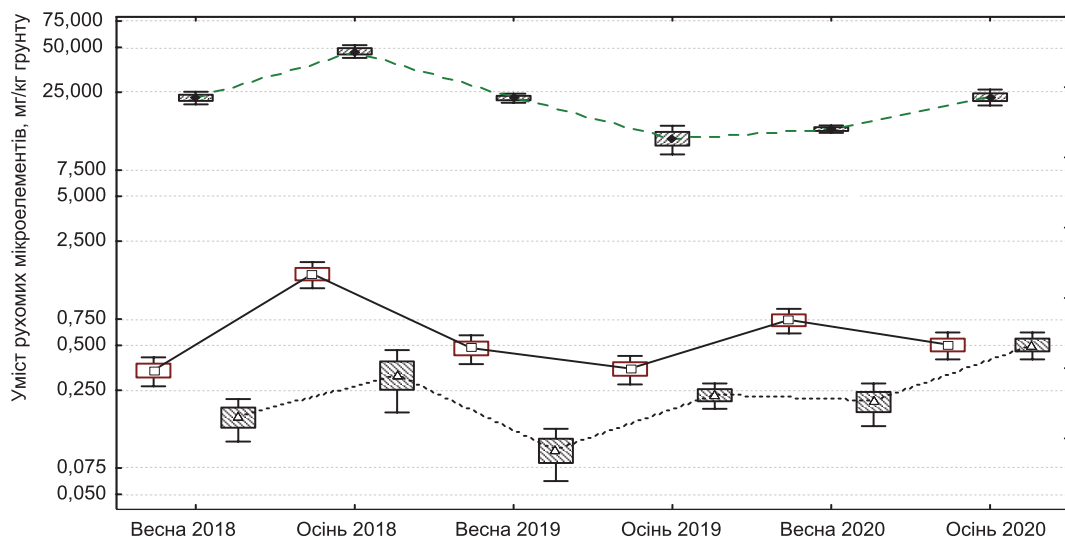


Рис. 4. Динаміка рухомих мікроелементів у орному шарі на об'єкті «Новий Коротич» (позначено середній показник рН, стандартну помилку та довірчий інтервал): □ — Zn; ▢ — Mn; ▤ — Cu (для рис. 4, 5)

ґрунту [20, 21]. Ймовірною причиною змін рухомості Mn може бути висушування ґрунтового матеріалу на тлі високих температур літнього періоду, оскільки сполуки цього елемента дуже чутливі до окисно-відновних умов. Автори [22] установили, що зволоження ґрунту після тривалого сухого періоду збільшує доступність Mn

рослинам. Сезонні зміни доступного Mn з 6,5 до 41,2 мг/кг у суглинкових ґрунтах Айдахо з липня до вересня відзначали дослідники [23].

Рухомі мікроелементи, особливо Zn та Cu, мали також високий рівень варіації всередині кожного полігона, значно перевищуючи параметри відносних похибок,

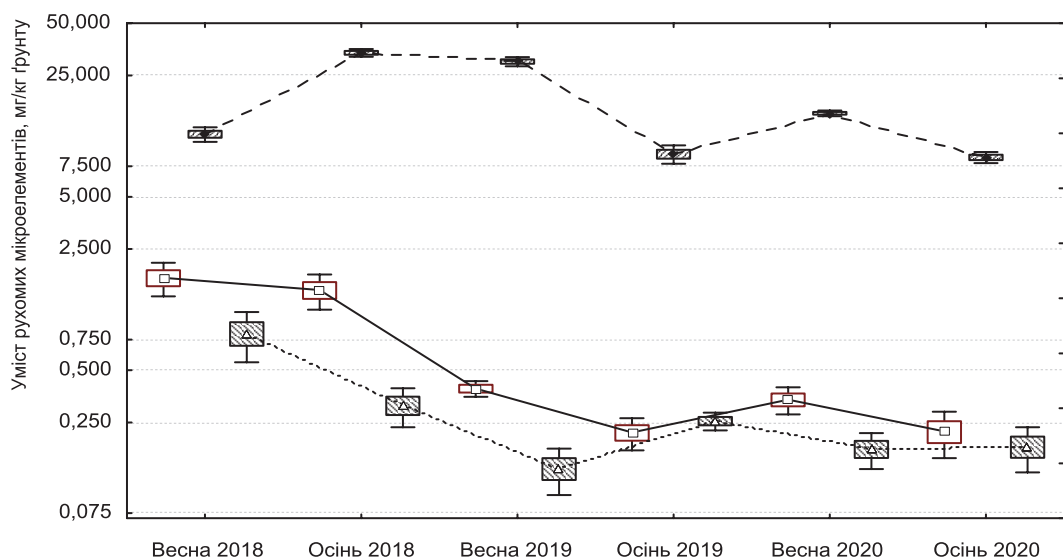


Рис. 5. Динаміка рухомих мікроелементів у орному шарі на об'єкті «Дослідне» (позначено середній показник рН, стандартну помилку та довірчий інтервал)

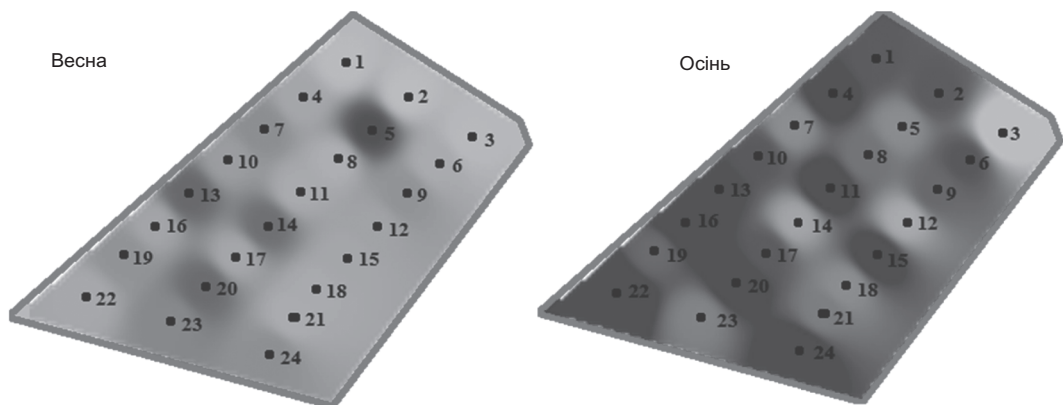


Рис. 6. Просторовий розподіл рухомого Zn в ґрунтах полігона «Новий Коротич» у 2018–2020 рр.: ■ — 0,9 мг/кг; ■ — 0,6 мг/кг; ■ — 0,3 мг/кг

передбачених стандартами на метод вимірювань (23% для Zn, 9 — Cu, 27% — для Mn). На окремих пробних майданчиках кілька разів поспіль уміст мікроелементів був аномально високим або низьким, що свідчить на наявність сталих у часі відмінностей. Проте на більшій частині обох полігонів таких сталих осередків концентрації чи збіднення ґрунту на рухомі мікроелементи виявлено не було або вони проявлялися епізодично лише в осінній чи весняний періоди. Це наочно показують картографи просторового розподілу Zn, побудовані за середніми даними за 3 роки. Зокрема, осередки підвищеного вмісту Zn на майданчиках 13 та 20 на полігоні «Новий Коротич» зберігалися незалежно від сезону, а на майданчиках 5 та 14 спостерігалось зниження вмісту цього елемента (рис. 6). Уміст

рухомого Zn в ґрунтах полігона «Дослідне» також має високу просторову варіабельність, але за іншим трендом — восени забезпеченість погіршувалася, а на майданчиках № 7–12 формувалася осередок дуже низьких концентрацій (рис. 7). Аналогічна мінливість розташування просторових ареалів різного ступеня забезпеченості спостерігалася і для Cu.

Причини виникнення ареалів підвищеного або зниженого вмісту мікроелементів у ґрунті та просторова неоднорідність інших його характеристик можуть бути різними. Автори [24] вважають, що основними чинниками, які впливають на просторову неоднорідність доступних форм мікроелементів, є літологія ґрунтів, органічна речовина та pH, а для Mn та Fe — ще й топографія поверхні. У дослідженнях

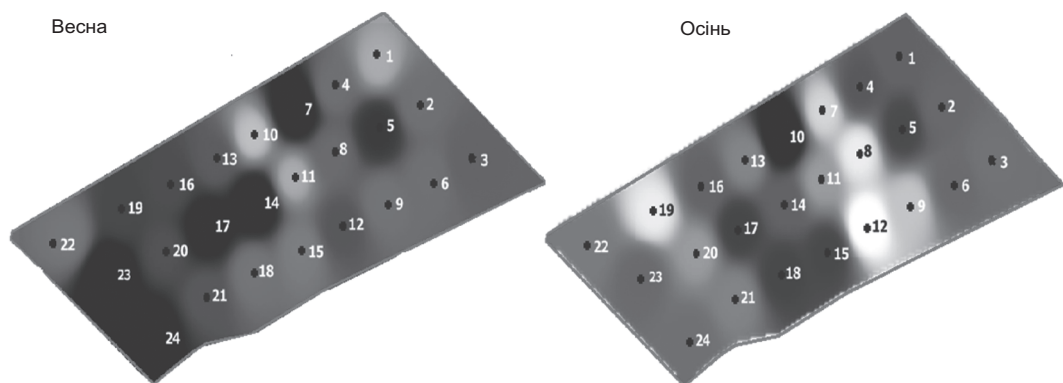


Рис. 7. Просторовий розподіл рухомого Zn у ґрунтах полігона «Дослідне» в 2018–2020 рр.: ■ — 1,1 мг/кг; ■ — 0,5 мг/кг; ■ — 0,2 мг/кг

2. Кореляційні зв'язки між умістом рухомих мікроелементів та деякими властивостями ґрунтів

Роки	Сезон	Коефіцієнти парної кореляції*					
		«Новий Коротич»			«Дослідне»		
		Zn	Mn	Cu	Zn	Mn	Cu
2018	Весна	—	—	—	—	—	0,49
	Осінь	-0,41	-0,59	—	—	-0,64	—
2019	Весна	—	-0,59	0,47	-0,59	-0,40	—
	Осінь	—	—	—	—	-0,44	—
2020	Весна	—	-0,44	—	-0,41	—	—
	Осінь	-0,45	-0,85	-0,45	—	—	—
2018–2020	Весна	—	-0,50	—	—	-0,64	—
	Осінь	—	-0,53	—	—	-0,57	—
	Разом	—	-0,67	—	—	-0,76	—

*Наведено лише істотні зв'язки за $p=0,05$.

[25] Mn більше корелював із карбонатами, органічним карбоном і фізичним піском, Zn — із рН та карбоном, Cu — з ємністю поглинання. Кореляційний аналіз отриманих даних не виявив істотного зв'язку рухомих мікроелементів із польовою вологістю ґрунту та вмістом органічного карбону. Просторовий розподіл рН мав від'ємну кореляцію з рухомих Zn, і особливо з Mn в окремі періоди спостережень (табл. 2). Загалом урахування всіх 3-х чинників дає змогу охарактеризувати 49% просторової варіабельності рухомого Mn на полігонах «Новий Коротич» (рівняння 1) та 66% — «Дослідне» (рівняння 2).

$$\begin{aligned} \text{Mn} &= 54,8 - 9,6\text{pH} + 1,0\text{W} - 0,81\text{C}; \\ R &= 0,70; R^2 = 0,49; F(3;20) = 6,45 \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \text{Mn} &= 34,8 - 3,6\text{pH} - 0,21\text{W} + 2,9\text{C}; \\ R &= 0,81; R^2 = 0,66; F(3;19) = 12,4, \end{aligned} \quad (2)$$

де Mn — уміст рухомого Mn в ґрунті, мг/кг; рН — рН сольовий; W — польова вологість, %; C — уміст органічного карбону, %.

Проведені дослідження показують, що часова та просторова мінливість рухомих мікроелементів у ґрунтах Лівобережного Лісостепу визначається сукупністю ґрунтових, погодно-кліматичних, біологічних та інших чинників і має значний діапазон, тому не можна покладатися на одноразові дослідження неоднорідності ґрунтів за цими показниками для точного землеробства. Сучасні комп'ютерні технології дають можливість прогнозувати дію багатьох чинників, і вже є досвід успішного моделювання умов мікроелементного живлення рослин [26, 27]. Розвиток цього напрямку полегшить перехід до технологій точного землеробства щодо раціонального використання мікроелементів.

Висновки

Ґрунтовий покрив 2-х типових для Лівобережного Лісостепу земельних ділянок, які склалися з чорноземів типових, чорноземів опідзолених, темно-сірих опідзолених ґрунтів та їхніх різновидів, виявив істотну часову та просторову варіабельність за вмістом рухомих Zn, Cu і Mn в орному шарі.

У чорноземах опідзолених і темно-сірих опідзолених ґрунтах із рН сольовим 4,4–5,0 сезонні зміни проявилися в збільшенні вмісту Zn, Cu і Mn з весни до осені,

у чорноземах типових із рН 5,8–6,1 — у зниженні вмісту Zn і Cu за цей період.

Просторова варіабельність мікроелементів усередині кожного полігона перевищувала параметри відносних похибок, передбачених стандартами на методи їх вимірювань, а коефіцієнти варіації становили 25–71% для Zn, 28–76 — Cu та 9–52% — для Mn. Із 3-х мікроелементів Mn мав найтісніший зв'язок з рН (коефіцієнти кореляції -0,4 – -0,85).

Miroshnychenko M.¹, Kovalenko S.²

National Scientific Center «Institute for Soil Science and Agrochemistry Research named after O.N. Sokolovskiy», 4 Chaikovska Str., Kharkiv, 61024, Ukraine; e-mail: ¹ecosoil@meta.ua, ²stanislawkowalenko@gmail.com; ORCID: ¹0000-0003-2830-5933, ²0000-0001-6834-2259

Space-time unevenness of soil supply with mobile microelements

Goal. To determine the spatial and temporal variation of the content of mobile trace elements in the arable layer of zonal soils of the Left Bank Forest Steppe of Ukraine. **Methods.** Field, soil monitoring, laboratory-analytical — for determination of mobile forms of trace elements in the soil by the method of atomic absorption spectrometry with extraction with ammonium acetate buffer solution with pH 4.8, and statistical. The research was conducted during 2018–2020 at 2 soil-agrochemical land ranges. The soil cover of one of them consisted of chernozems and dark gray podzolized soils, and of the other, typical chernozems and their varieties. Each of the ranges was divided into 24 plots, where twice a year (April–May, and September–October) pH of saline, organic carbon, moisture, and mobile Zn, Cu, and Mn in the arable soil layer were determined. **Results.** During the research period, the average saline pH parameters at the first land range varied from 4.4 to 5.0, and at the second land range from 5.8 to 6.1. At the first land range, the average

content of Zn increased from spring to autumn from 0.63 to 0.81 mg/kg, Cu — from 0.25 to 0.38, and Mn — from 20.0 to 27.5 mg/kg. Conversely, on chernozems of typical content, Zn decreased from spring to autumn from 0.79 to 0.52 mg/kg, Cu from 0.35 to 0.16 mg/kg, and Mn did not change significantly. A very high level of variation was observed within each range, especially for Zn and Cu. However, centers of concentration or impoverishment of the soil on mobile trace elements mostly did not have a stable location. The spatial distribution of pH had a significant negative correlation with Mn, and in certain periods of observation, also with Zn. **Conclusions.** Mobile Zn, Cu, and Mn had significant temporal dynamics in the arable layer of the zonal soils of the Left Bank Forest Steppe, which was manifested in an increase in their content from spring to autumn under an acidic reaction of the environment and a decrease in Zn and Cu under close to neutral pH values. The variability of trace elements within each range was high, with coefficients of variation of 25–71% for Zn, 28–76 for Cu, and 9–52% for Mn. The closest negative relationship between Mn content and soil pH (correlation coefficients – 0.4––0.85) was noted in the samples of the experimental land range «Novyi Korotych» during the research periods.

Key words: zinc, copper, manganese, seasonal dynamics, soil agrochemical polygons.

DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovysnyk202304-01>

Бібліографія

1. Мірошніченко М. М., Фатєєв А. І., Пащенко Я. В. та ін. Розмаїтість мікроелементного складу ґрунтів і рослин та задачі агрохімічного районування України. *Вісник аграрної науки*. 2006. Спецвипуск, квітень. С. 71–75.
2. Наукові дослідження з моніторингу та обстеження сільськогосподарських угідь України за результатами XI туру (2016–2020 рр.). Київ: ДУ «Держґрунтохорона», 2022.
3. Sadeghzadeh B. A review of zinc nutrition and plant breeding. *J. of Soil Science and Plant Nutrition*. 2013. V. 13. Is. 4. P. 905–927. doi: 10.4067/S0718.95162013005000072
4. Alloway B. J. Soil factors associated with zinc deficiency in crops and humans. *Environmental Geochemistry and Health*. 2009. V. 31. Is. 5. P. 537–548. doi: 10.1007/s10653-009-9255-4
5. Leah T. The microelements content in the eroded carbonatic chernozem from central area of Moldova. *Lucrări Științifice. Seria Agronomie*. 2018. V. 61. Is. 2. P. 51–54.
6. Labaz B., Kabala C., Waroszewski J. Ambient geochemical baselines for trace elements in Chernozems — approximation of geochemical soil

- transformation in an agricultural area. *Environmental Monitoring and Assessment*. 2018. V. 191. Is. 1. Article 19. doi: 10.1007/s10661-018-7133-1
7. Kabata-Pendias A. Trace elements in soils and plants. 4th ed. Boca Raton: CRC Press, 2011. 520 p.
8. Menna A. Spatial and temporal variability of soil micronutrients and their relationships with wheat (*Triticum aestivum* L.) yield and some major soil variables. *African J. of Agricultural Research*. 2022. V. 18. Is. 6. P. 385–398. doi: 10.5897/AJAR2022.15971
9. Su B., Zhao G., Dong C. Spatiotemporal variability of soil nutrients and the responses of growth during growth stages of winter wheat in northern China. *PLoS ONE*. 2018. V. 13. Is. 12: e0203509 doi: 10.1371/journal.pone.0203509
10. Tomaz A., Martins I., Catarino A. et al. Insights into the Spatial and Temporal Variability of Soil Attributes in Irrigated Farm Fields and Correlations with Management Practices: A Multivariate Statistical Approach. *Water*. 2022. V. 14. Is. 20. 3216. doi: 10.3390/w14203216
11. Zhuo Z., Xing A., Li Y. et al. Spatio-Temporal Variability and the Factors Influencing Soil-Available Heavy Metal Micronutrients in Di

erent Agricultural Sub-Catchments. *Sustainability*. 2019. V. 11. Is. 21. 5912 doi: 10.3390/su11215912

12. Chelabi H., Khiari L., Gallichand J. Temporal variability of soil fertility indicators and sampling periods in Québec. *Canadian J. of Soil Science*. 2022. V. 102. № 2. P. 549–559 doi: 10.1139/cjss-2021-0079

13. Крупский Н.К., Александрова А.М. К вопросу об определении подвижных форм микроэлементов. *Микроэлементы в жизни растений, животных и человека*. Киев: Наукова думка, 1964. С. 11–34.

14. Методика проведення агрохімічної паспортизації земель сільськогосподарського призначення: керівний нормативний документ; за ред. І.П. Яцука, С.А. Балука. Вид. 2-е доп. Київ, 2019. 108 с.

15. Мірошніченко М.М., Круподєря Ю.О., Куц О.А. та ін. Сезонна динаміка показників якості та родючості ґрунту. *Теорія і практика ґрунтоохоронного моніторингу*; за ред. М.М. Мірошніченка. Харків: ФОП Бровін О.В., 2016. С. 77–121.

16. Neenu S., Ramesh K. Weather-Micronutrient Interaction in Soil and Plants – A Critical Review. *Chemical Science Review and Letter*. 2020. V. 9. Is. 33. P. 205–219. doi: 10.37273/chesci.cs20510136

17. Dhaliwal S.S., Naresh R.K., Mandal A. et al. Dynamics and transformations of micronutrients in agricultural soils as influenced by organic matter build-up: A review. *Environmental and Sustainability Indicators*. 2019. V. 1–2. 100007. doi: 10.1016/j.indic.2019.100007

18. Балаєв А.Д., Богданович Р.П., Олійник В.С. Сезонна динаміка органічних речовин чорнозему типового Лісостепу Правобережного залежно від рівня удобрення. *Вісник аграрної науки*. 2015. № 2. С. 16–19.

19. Koçak B. Seasonal variations of some soil nutrients in a natural and an agricultural olive grove in Adana, Turkey. *Environment Monitoring and Assessment*. 2022. V. 194. Article 246. doi:

10.1007/s10661-022-09903-y

20. Llanderal A., Garcia-Caparrós P., Contreras J.I. et al. Spatio-Temporal Disposition of Micronutrients in Green Bean Grown in Sandy Mulching Soils. *Agriculture*. 2022. V. 12. Is. 7. 1066. doi: 10.3390/agriculture12071066

21. Rengel Z. Availability of Mn, Zn and Fe in the rhizosphere. *J. of Soil Science and Plant Nutrition*. 2015. V. 15. Is. 2. P. 397–409. doi: 10.4067/S0718-95162015005000036

22. Webb M.J., Dinkelaker B.E., Graham R.D. The dynamic of plant-available manganese during storage of a calcareous soil. *Biology and Fertility of Soils*. 1993. V. 15. P. 9–15. <https://link.springer.com/article/10.1007/BF00336281>

23. Hoskinson R.L., Hess J.R., Alessi R.S. Temporal changes in the spatial variability of soil nutrients. *2nd European Conference on Precision Agriculture*. Odense, Denmark, July 11–15, 1999. <https://www.osti.gov/servlets/purl/9823-CNgtWm/webviewable/>

24. Ye H., Shen C., Huang Y. et al. Spatial variability of available soil microelements in an ecological functional zone of Beijing. *Environmental Monitoring and Assessment*. 2015. V. 187. Is. 2:4230. doi: 10.1007/s10661-014-4230-7

25. Tekin A.B., Günel H., Sindir K., Balkr Y. Spatial structure of available micronutrient contents and their relationships with other soil characteristics and corn yield. *Fresenius Environmental Bulletin*. 2011. V. 20, № 3a. P. 783–792.

26. Keshavarzi A., Kaya F., Başayığit L., Gyasi-Agyei Ye. Spatial prediction of soil micronutrients using machine learning algorithms integrated with multiple digital covariates. *Research Square*. 2022. preprint. doi: 10.21203/rs.3.rs-2009156/v1

27. Blesslin Sheeba T., Vijay Anand L. D., Gunaselvi Manohar et al. Machine Learning Algorithm for Soil Analysis and Classification of Micronutrients in IoT-Enabled Automated Farms. *J. of Nanomaterials*. V. 2022. Article ID 5343965. doi: 10.1155/2022/5343965