

## ВПЛИВ ДОБРИВ НА НАКОПИЧЕННЯ МІКРОЕЛЕМЕНТІВ І ВАЖКИХ МЕТАЛІВ У СІРОМУ ЛІСОВОМУ ҐРУНТІ

С.Е. Дегодюк<sup>1</sup>, О.А. Літвінова<sup>1</sup>, О.В. Дмитренко<sup>2</sup>, Л.П. Молдаван<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ННЦ «Інститут землеробства НААН»

<sup>2</sup> ДУ «Інститут охорони ґрунтів України»

*Наведено результати досліджень зміни вмісту рухомих і кислоторозчинних форм мікроелементів і важких металів за систематичного застосування органічних і мінеральних добрив у польовій сівозміні на сірому лісовому ґрунті. Встановлено, що застосування добрив впливало на підвищення рівнів цих показників у ґрунті порівняно з початковим станом дослідження, але перевищення ГДК стосовно всіх елементів не спостерігалось. Найефективнішою як у процесах накопичення найбільш значущих у життєдіяльності рослин мікроелементів, так і створення високого рівня продуктивності ланки сівозміни виявилась органо-мінеральна система удобрення (12 т/га гною + N<sub>60</sub>P<sub>60</sub>K<sub>60</sub>). Застосування тільки мінеральних добрив за високих навантажень у системах удобрення є недоцільним в агрономічному аспекті.*

**Ключові слова:** мікроелементи, важкі метали, родючість ґрунту, продуктивність, сівозміна.

Підвищення продуктивності рослинництва безпосередньо залежить від інтенсивного використання мінеральних і органічних добрив, а також від вапнування кислих ґрунтів. Усі ці заходи впливають на мікроелементний склад ґрунтів і доступність цих елементів рослинам. Нестача мікроелементів у ґрунті, як і надлишок, пригнічує ріст і розвиток рослин, знижує їх стійкість до несприятливих умов навколишнього природного середовища та хвороб. Розрізняють кілька біологічних груп рослин, що характеризуються підвищеною потребою в тих або інших мікроелементах. Так, зернові, насамперед, реагують на мідь, бобові — на молібден і бор, кукурудза — на цинк, соняшник — на бор і мідь, ріпак — на бор і марганець [1–4].

Важкі метали залежно від їх вмісту у ґрунті є або каталізаторами, або інгібіторами ґрунтових біохімічних процесів. Антропогенні чинники значно впливають на вміст важких металів у ґрунті, зокрема, надмірна кількість меліорантів і мінеральних добрив може різко збільшити вміст важких металів у ґрунті [5]. Поглинання і накопичення важких металів рослинами

залежить від низки чинників: типу ґрунту, його фізичних і фізико-хімічних властивостей, вмісту органічної речовини, окислювально-відновних умов, антагонізму чи синергізму між металами, їх кількості в педосфері; температури ґрунту, типу рослинності тощо.

Важкі метали і мікроелементи в мінеральних добривах є природними домішками, що містяться в агрорудах. Як відомо, до мінеральних добрив важкі метали потрапляють із сировини внаслідок недосконалих технологічних прийомів їхнього виробництва. Найістотнішими за набором концентраціями домішок важких металів є фосфорні добрива, а також добрива, вироблені з використанням екстракційної ортофосфорної кислоти (амофоси, нітрофоски, подвійні суперфосфати). Азотні добрива можуть містити у своєму складі певну їх кількість (мг/кг): кадмію — 0,05–8,5, кобальту — 5,4–12, міді — 1,0–15,0, молібдену — 1,0–7,0, нікелю — 7,0–34,0, свинцю — 2,0–27,0, цинку — 1,0–42,0. У аміачній селітрі вітчизняного виробництва може міститись близько 0,25мг/кг міді, 0,84 — нікелю, 0,05 — свинцю, 0,2 — цинку мг/кг [6]. Слід зауважити, що з 1 т підстилкового гною до ґрунту у середньому надходить 152 мг цинку, 6,9 — нікелю, 4,4 — свинцю, 27 —

міді, 0,25 — кадмію та 273 мг марганцю [7]. Тому дослідження рівня накопичення ґрунтом мікроелементів і важких металів за систематичного внесення добрив є актуальним, і найбільш повну характеристику цих змін можна одержати в умовах стаціонарних дослідів за дотримання польових сівозмін.

Мета роботи — дослідити вплив систематичного застосування добрив у польовій сівозміні на накопичення мікроелементів і важких металів у сірому лісовому крупнопилувато-легкосуглинковому ґрунті за різних обсягів внесення мінеральних і органічних добрив.

### МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Дослідження проводили впродовж 2011–2016 рр. у дослідному господарстві ДПДГ «Чабани» ННЦ «Інститут землеробства НААН» на сірому лісовому крупнопилувато-легкосуглинковому ґрунті у п'ятипільній польовій сівозміні: кукурудза, ячмінь ярий, гречка, горох, пшениця озима. За пробами на початку проведення дослідів орний шар (0–20 см) ґрунту характеризувався середньокислою реакцією ( $\text{pH}_{\text{сол.}}$  4,6), низьким умістом загального гумусу — 1,25%, низькою забезпеченістю гідролізованим азотом (50,8 мг/кг ґрунту), підвищеним умістом рухомого фосфору (168 мг/кг  $\text{P}_2\text{O}_5$ ) та середнім умістом обмінного калію (92 мг/кг ґрунту).

Дослід закладено в 2011 р. і розпочато в натурі на трьох полях; налічує 11 варіантів, повторення — чотириразове. Посівна площа ділянки — 52 м<sup>2</sup>, облікова — 22 м<sup>2</sup>. Одинарна доза для гречки та гороху —  $\text{N}_{20}\text{P}_{30}\text{K}_{30}$ , пшениці озимої —  $\text{N}_{50}\text{P}_{30}\text{K}_{50}$ . Підстилковий гній ВРХ застосовували під кукурудзу на зерно в одинарній дозі 60 т/га, або в перерахунку на 1 га сівозмінної площі — 12 т, решта культур використовували його післядію: гречка — на другий рік, горох — на третій, пшениця озима — на четвертий рік. Органо-мінеральне біоактивне добриво (ОМБД) виготовлено на основі сапропелю озерного, торфу перехідного, мінеральних добрив (NPK) сорбентів та іонообмінників з використанням біоти — комплексу цінних

агрономічних мікроорганізмів із співвідношенням поживних речовин —  $\text{N}_4\text{P}_4\text{K}_4$ .

Аналітичні роботи проводили із зразками ґрунту, відібраними на період завершення першої ротації сівозміни за вирощування пшениці озимої. Концентрацію валових, кислоторозчинних (після вилучення 1,0 н  $\text{HCl}$ , 0,1 н  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) та рухомих (після вилучення ацетатно-амонійним буферним розчином  $\text{pH}$  4,8) форм важких металів і мікроелементів (марганець, цинк, кадмій, залізо, мідь, нікель, свинець) — методом атомно-абсорбційної спектрофотометрії ДСТУ 4770.1:2007, ДСТУ 4770.2:2007, ДСТУ 4770.3:2007, ДСТУ 4770.4:2007, ДСТУ 4770.6:2007, ДСТУ 4770.9:2007 (аналітичні роботи проведено в лабораторії безпеки земель, якості продукції та довкілля ДУ «Інститут охорони ґрунтів України»).

### РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Установлено, що систематичне застосування добрив у польовій сівозміні впродовж однієї ротації мало вплив на зміну вмісту як рухомих, так і кислоторозчинних форм мікроелементів і важких металів у сірому лісовому ґрунті. Слід наголосити, що у зразках ґрунту значення цих показників як на початок дослідів (2011 р.), так і наприкінці (2016 р.) не перевищували ГДК. Однак спостерігалось накопичення деяких рухомих і кислоторозчинних форм мікроелементів та важких металів порівняно з початковими даними.

Встановлено, що застосування добрив за різних систем удобрення не вплинуло на перевищення ГДК кислоторозчинних і рухомих форм марганцю, кобальту, міді, цинку, кадмію, свинцю, заліза. Слід зауважити, що за період 2011–2016 рр. у ґрунті всіх варіантів спостерігалась тенденція до підвищення вмісту кислоторозчинних та рухомих форм кобальту, міді, заліза і кислоторозчинних форм марганцю і свинцю.

Найістотнішим було накопичення мікроелементів за органо-мінеральної системи удобрення (12 т/га гною +  $\text{N}_{60}\text{P}_{60}\text{K}_{68}$ ). За цих умов уміст кислоторозчинних форм становив: марганцю — 145 мг/кг, кобальту —

1,07, міді – 7,64, цинку – 2,71 мг/кг, тоді як на початок дослідів – 130; 0,8; 2,65 мг/кг ґрунту відповідно.

За мінеральної системи удобрення з максимальним внесенням добрив ( $N_{90}P_{90}K_{102}$ ) спостерігалось зниження вмісту показників, за винятком заліза (9,88 порівняно з початковим – 9,85), тоді як за помірних доз мінеральних добрив уміст у ґрунті важливих для життєдіяльності рослин мікроелементів підвищувався. Слід наголосити, що кількість рухомих форм марганцю за систематичного застосування добрив у сівозміні зменшилась у 1,1–2,0 рази. Застосування ОМБД на сірому лісовому ґрунті сприяло підвищенню всіх кислоторозчинних форм мікроелементів (марганцю, міді, цинку, заліза) на 3–7% порівняно з початковим значенням та запобіганню накопичення важких металів у ґрунті (табл. 1).

Результати досліджень щодо вмісту найбільш доступних для рослин рухомих сполук мікроелементів і важких металів свідчать про те, що кількість марганцю, цинку, кадмію, свинцю, заліза була дещо нижчою або не змінювалась в усіх варіантах порівняно з початковими показниками. Ця закономірність узгоджується з результатами інших науковців (Городній, Бикін, 2005) щодо можливості зменшення рухомих форм мікроелементів і важких металів у верхньому шарі ґрунту за його інтенсивного використання у землеробстві. Такий ефект є вагомим за застосування ОМБД, оскільки за цих умов метали активніше закріплюються органо-мінеральними сполуками, утворюючи менш рухомі органо-мінеральні комплекси.

Накопичення у ґрунті макро- і мікроелементів сприяє одержанню сталих урожаїв сільськогосподарських культур. У 2016 р. у ланці польової сівозміни на сірому лі-

Таблиця 1

Уміст рухомих і кислоторозчинних форм мікроелементів і важких металів у сірому лісовому ґрунті за різних систем удобрення (шар 0–20 см) за 2016 р., мг/кг

Удобрення на 1 га ріллі		Марганець		Кобальт		Мідь		Цинк		Кадмій		Свинець		Залізо	
Гній, т	НРК, кг	1*	2**	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Без добрив (контроль)		11,8	130,1	0,21	1,19	0,13	7,66	0,71	2,77	0,12	0,12	0,98	5,23	3,5	9,50
12	$N_{60}P_{60}K_{68}$	16,1	145,1	0,17	1,07	0,15	7,64	1,01	2,71	0,10	0,13	1,00	5,46	5,0	8,79
12	$N_0P_0K_0$	9,6	136,9	0,30	0,64	0,08	6,92	0,55	2,29	0,07	0,17	0,67	4,10	3,4	7,44
6	$N_0P_0K_0$	11,4	136,2	0,27	0,73	0,04	7,88	0,92	2,65	0,13	0,17	0,55	5,34	3,25	9,84
–	$N_{60}P_{60}K_{68}$	21,5	140,0	0,28	0,39	0,15	6,98	1,00	2,96	0,07	0,15	0,92	5,79	7,45	9,85
–	$N_{90}P_{90}K_{102}$	17,4	130,6	0,21	0,23	0,18	6,45	0,97	2,71	0,08	0,14	0,54	5,50	7,35	9,88
ОМБД 1,0 т/га		16,5	140,3	0,32	0,44	0,29	6,92	1,04	2,77	0,10	0,10	0,92	5,37	5,45	9,89
Початковий уміст (2011 р.)		20,0	130,0	0,26	0,8	0,12	6,70	1,05	2,65	0,10	0,15	1,00	5,48	4,0	9,60
НІР <sub>05</sub>		9,3	12,2	0,11	0,72	0,16	1,12	0,39	0,41	0,05	0,05	0,44	1,10	3,73	1,86
ГДК		140	–	5,0	–	3,0	–	23,0	–	0,7	–	2,00	–	–	–

Примітка: 1\* – уміст рухомих форм мікроелементів і важких металів, 2\*\* – уміст кислоторозчинних форм мікроелементів і важких металів.

**Продуктивність культур ланки сівозміни за різних систем удобрення  
в тривалому досліді, за 2016 р.**

Удобрення на 1 га ріллі		Продуктивність основної продукції, т/га, з.о.						Продуктивність ланки, т/га, з.о.		
гній, т	NPK, кг	гречка		горох		пшениця озима			приріст до контролю	% до контролю
			приріст до контролю		приріст до контролю		приріст до контролю			
Без добрив (контроль)		2,21	–	3,01	–	2,53	–	2,58	–	–
12	N <sub>60</sub> P <sub>60</sub> K <sub>68</sub>	3,44	1,43	5,70	2,69	5,44	2,91	4,86	2,28	88
12	N <sub>0</sub> P <sub>0</sub> K <sub>0</sub>	4,39	2,18	5,11	2,10	4,66	2,13	4,72	2,14	83
6	N <sub>0</sub> P <sub>0</sub> K <sub>0</sub>	2,59	0,36	4,56	1,55	3,67	1,14	3,61	1,03	40
–	N <sub>60</sub> P <sub>60</sub> K <sub>68</sub>	3,44	1,23	4,56	1,55	4,89	2,36	4,36	1,78	69
–	N <sub>90</sub> P <sub>90</sub> K <sub>102</sub>	3,15	0,94	5,35	2,34	5,13	2,60	5,54	1,96	76
ОМБД 1,0 т/га		3,46	1,25	5,07	2,06	5,05	2,52	4,53	1,95	76

совому ґрунті вирощували гречку, горох і пшеницю озиму. Перерахунок урожайності в зернові одиниці (з.о.) свідчить, що продуктивність цих культур без внесення добрив (контроль) у середньому становила 2,58 т/га. Найвищим (4,86 т/га з.о.) цей показник був за внесення 12 т гною на 1 га сівозміної площі + N<sub>60</sub>P<sub>60</sub>K<sub>68</sub>. Післядії гною, внесеного під кукурудзу, виявилась через ланку польової сівозміни ефективнішою на 14% порівняно з прямою дією оптимальної дози ОМБД за мінеральної системи удобрення (табл. 2).

Незважаючи на віддалений ефект післядії гною (4 роки), перевага органо-мінеральної системи удобрення над мінеральною у ланці сівозміни є очевидною, що узгоджується із накопиченням у ґрунті мікроелементів. Звертає на себе увагу важливість введення у сівозміну бобового компонента – гороху, що підвищило біологічну активність ґрунту з істотним зростанням післядії гною під пшеницею озимою. Внесення у ланці сівозміни лише підвищеної дози мінеральних туків (N<sub>90</sub>P<sub>90</sub>K<sub>102</sub>) не мало переваги над оптимальною, адже за перевищення її у 1,5 рази додатковий ефект становив всього 7%.

Середня продуктивність трьох культур сівозміни за застосування ОМБД марки 4–4–4, внесених у дозі 1 т/га, забезпечило одержання 4,53 т/га з.о. із приростом 76% до контролю, що за ефективністю наближалось до післядії гною і прямої дії мінеральних добрив, тобто було на рівні потрібної дози NPK за мінеральної системи удобрення.

Отже, показники врожайності ланки польової сівозміни за 2016 р. свідчать про перспективність ведення органо-мінеральних систем удобрення, а також про ефективність ОМБД. Натомість застосування надмірних доз добрив за мінеральної системи удобрення є невиправданим прийомом.

### ВИСНОВКИ

Систематичне застосування добрив у польовій сівозміни на сірому лісовому ґрунті мало вплив на накопичення рухомих і кислоторозчинних форм мікроелементів і важких металів у ґрунті порівняно з початковим рівнем (2011 р.), але перевищення ГДК за всіма елементами не зафіксовано.

Найвищий рівень накопичення мікроелементів і важких металів зафіксовано за органо-мінеральної системи удобрення

(12 т/га гною + N<sub>60</sub>P<sub>60</sub>K<sub>68</sub>). За цих умов уміст кислоторозчинних форм становив: марганцю — 145 мг/кг, кобальту — 1,07, міді — 7,64, цинку — 2,71 мг/кг ґрунту, тоді як у зразках на початок дослідю — 130; 0,8; 2,65 мг/кг ґрунту відповідно.

Найвищий рівень продуктивності (4,86 т/га з.о.) досягнуто за оптимальної

органо-мінеральної системи удобрення (12 т/га гною + N<sub>60</sub>P<sub>60</sub>K<sub>68</sub>). Внесення 1 т/га ОМБД марки 4–4–4 забезпечило одержання 4,53 т/га з.о., або було на 70% вище порівняно з контролем (без добрив) — 2,58 т/га з.о., що свідчить про перспективність їх застосування в інтенсивному землеробстві.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Аристархов А.Н. Использование микроэлементов в условиях интенсивной химизации и принципы определения потребности в них / А.Н. Аристархов // Химизация сельского хозяйства. — 1985. — № 8. — С. 15–22.
2. Халитов Н.Г. Содержание макроэлементов и тяжелых металлов в полевых культурах / Н.Г. Халитов // Земледелие. — 2006. — № 2. — С. 28.
3. Фатеев А.Н. Основы применения микроудобрений / А.Н. Фатеев, М.А. Захарова. — Х., 2003. — 110 с.
4. Господаренко Г.М. Агрохимия мінеральних добрив / Г.М. Господаренко. — К., 2003. — 135 с.
5. Дмитрук Ю.М. Еколого-геохімічний аналіз ґрунтового покриву агрокосистем. — Чернівці: Рута, 2006. — 328 с.
6. Клименко І.І. Вплив добрив на накопичення важких металів у темно-сірому опідзоленому ґрунті /
- І.І. Клименко // Вісник аграрної науки. — 2009. — № 6. — С. 67–69.
7. Макаренко Н.А. Агроекологічна оцінка мінеральних добрив за впливом на ґрунтову систему: автореф. дис. ... д-ра с.-г. наук: 03.00.16 / Н.А. Макаренко. — К., 2002. — 16 с.
8. Макаренко Н.А. Методичні рекомендації з встановлення допустимих концентрацій шкідливих речовин в агрохімікатах / Н.А. Макаренко. — К., 2007. — 16 с.
9. Гаврилов В.Л. До питання про джерела надходження в ґрунти екзогенних хімічних елементів / В.Л. Гаврилов, В.І. Кисіль, Л.О. Дикач // Тези доп. Четвертого з'їзду ґрунтознавців і агрохіміків України: Секція агрохімії та охорони навколишнього середовища (Харків, 1994 р.). — Х., 1994. — С. 82–84.

## REFERENCES

1. Arystarkhov, A.N. (1985). Yspol'zovanye mykroelementov v uslovyiyakh yntensyvnoy khymyzatsyyu y pryntsypy opredeleniya potrebnosti v nykh [Use of trace elements in conditions of intensive chemicalization and principles of determining the need for them]. *Khymyzatsyya sel'skoho khozyaystva — Chemicalization of agriculture*, 8, 15–22 [in Russian].
2. Khalytov, N.H. (2006). Soderzhanye makroelementov y tyazhelykh metallov v polevykh kul'turakh [The content of macroelements and heavy metals in field crops]. *Zemledelye — Agriculture*, 2, 28 [in Russian].
3. Fateev, A.N., Zakharova, M.A. (2003). *Osnovy primeniya mikroudobreniy* [Fundamentals of microfertilizers]. Kharkiv [in Russian].
4. Hospodarenko, H.M. (2003). *Ahrokhimiya mineral'nykh dobrov* [Agrochemistry of mineral fertilizers]. Kyiv [in Ukrainian].
5. Dmytruk, Y.M. (2006). *Ekologo-geokhimichnyy analiz gruntovoho pokryvu ahroekosystem* [Ecological-geochemical analysis of soil cover of agroecosystems]. Chernivtsi: Ruta [in Ukrainian].
6. Klymenko, I.I. (2009). Vplyv dobrov na nakopychennya vazhkykh metaliv u temno-siromu opidzolenomu ґрунті [Effect of fertilizers on the accumulation of heavy metals in dark gray, podzolized soils]. *Visnyk ahromoyi nauky — Bulletin of Agrarian Science*, 6, 67–69 [in Ukrainian].
7. Makarenko, N.A. Ahroekolohichna otsinka mineral'nykh dobrov za vplyvom na gruntovu systemu [Agroecological assessment of mineral fertilizers for the influence on the soil system: author's abstract]. *Extended abstract of Doctor's thesis*. Kyiv [in Ukrainian].
8. Makarenko, N.A. (2007). *Metodychni rekomendatsiyi z vstanovlennya dopustymykh kontsentratsiy shkidlyvykh rechovyv v ahrokhimikatakh* [Methodical recommendations on the establishment of permissible concentrations of harmful substances in agrochemicals]. Kyiv [in Ukrainian].
9. Havrylov, V.L., Kysil, V.I., Dykach, L.O. (1994). Do pytannya pro dzherela nadkhodzheniya v ґрунты ekzohennykh khimichnykh elementiv [On the question of sources of exogenous chemical elements entering into soil]. *Tezy dop. Четвертого з'їзду ґрунтознавців і агрохіміків Украйны: Sektsiya ahrokhimiyi ta okhorony navkolishnyoho seredovyshcha — Abstract supplementary Fourth Congress of Soil Scientists and Agrochemists of Ukraine: Section of Agrochemistry and Environmental Protection*. (pp. 82–84). Kharkiv [in Ukrainian].