

DOI: 10.32636/01308521.2024-(76)-2-5

**Оригінальна наукова стаття**

УДК 631.582:633.11:631.445.2:631.86

**ПРОБЛЕМИ ПІДВИЩЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ ПШЕНИЦІ ОЗИМОЇ НА КИСЛИХ ЯСНО-СІРИХ ЛІСОВИХ ПОВЕРХНЕВО ОГЛЕСНИХ ҐРУНТАХ У РІЗНИХ РОТАЦІЯХ СІВОЗМІНИ ЗА ДОВГОТРИВАЛОГО АНТРОПОГЕННОГО ВПЛИВУ****О. С. Гавришко, Ю. М. Оліфір, Т. В. Партика, Н. І. Козак**

Інститут сільського господарства  
Карпатського регіону НААН  
вул. Грушевського, 5, с. Оброшине,  
Львівський р-н, Львівська обл.,  
81115

**Про авторів:**

Олег ГАВРИШКО,  
кандидат сільськогосподарських  
наук  
ORCID: 0000-0002-5458-0691

Юрій ОЛІФІР,  
кандидат сільськогосподарських  
наук  
ORCID: 0000-0002-7920-1854

Тетяна ПАРТИКА,  
кандидат біологічних наук  
ORCID: 0000-0001-7912-5292

Надія КОЗАК,  
старший науковий співробітник  
ORCID: 0000-0002-2809-2432

**Для листування:**

Олег ГАВРИШКО  
e-mail: havryshko0@gmail.com

**Інформація про фінансування:**

Національна академія аграрних  
наук України

**Отримано:**

13 вересня 2024 р.  
Погоджено до друку:  
23 жовтня 2024 р.

Всебічне вивчення проблем, які стосуються підвищення продуктивності сівозміни або вирощування окремих культур, можливе на основі отримання вірогідної та об'єктивної інформації в умовах базових стаціонарних дослідів. Такі роботи особливо актуальні для кислих та малопродуктивних ґрунтів, які займають 10,3 млн га, що становить 26,3 % від загальної площі України. Внесення на кислих ясно-сірих лісових поверхнево оглєсних ґрунтах кінця V та XI ротації сівозміни 10 т/га гною + N<sub>65</sub>P<sub>68</sub>K<sub>68</sub> на фоні періодичного вапнування 1,0 н CaCO<sub>3</sub> за Нг зіграло ключову роль у підвищенні рН<sub>KCl</sub> з 4,2 до 4,9–5,4 та зменшенні шкідливого Al<sup>3+</sup> з 60,0 мг/кг ґрунту до 7,2–3,2 мг/кг ґрунту, поліпшуючи умови для живлення пшениці озимої. Також відбулося значне зростання вмісту гумусу (з 1,41 % до 1,92–2,02 %) та забезпечення пшениці озимої поживними речовинами. Водночас застосування лише мінеральних систем удобрення на кінець V та XI ротації сівозміни відповідно у дозах N<sub>140</sub>P<sub>180</sub>K<sub>180</sub> та N<sub>65</sub>P<sub>68</sub>K<sub>68</sub> швидко забезпечувало рослини пшениці озимої потрібними елементами живлення, але їх ефективність була обмежена без поліпшення загального стану ґрунту. За результатами проведеного кореляційного аналізу встановлено, що продуктивність пшениці озимої кінця V ротації семипільної сівозміни за різних систем удобрення і вапнування більше залежала від фізико-хімічних показників (r = -0,659–0,807), а на кінець XI ротації чотирипільної сівозміни – від NPK (r = 0,715–0,847). Водночас тіснота зв'язку продуктивності із вмістом гумусу в ґрунті за вирощування пшениці озимої у чотирипільній сівозміні була дещо слабшою (r = 0,727), ніж у семипільній сівозміні (r = 0,882), проте коефіцієнти кореляції за шкалою Чеддока належать до однієї градації (від 0,7 до 0,9) та свідчать про високий зв'язок між показниками.

**Ключові слова:** ґрунт, удобрення, сівозміна, пшениця озима, продуктивність, ротація, кореляційний аналіз, зв'язок.

Стаття з відкритим доступом на умовах ліцензії Creative Commons.

© Гавришко О. С., Оліфір Ю. М., Партика Т. В., Козак Н. І., 2024

## Problems of increasing the productivity of winter wheat on acidic Albic Pantostagnic Luvisol in different crop rotations under long-term anthropogenic influence

Institute of Agriculture of Carpathian Region of NAAS  
Hrushevskoho street, 5, Obroshyne village, Lviv district, Lviv region, 81115

### About authors:

Oleh HAVRYSHKO  
ORCID: 0000-0002-5458-0691

Yurii OLIFIR  
ORCID: 0000-0002-7920-1854

Tetiana PARTYKA  
ORCID: 0000-0001-7912-5292

Nadiia KOZAK  
ORCID: 0000-0002-2809-2432

### For corresponding:

Oleh HAVRYSHKO  
e-mail: havryshko0@gmail.com

### Funding information:

National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine

Received:  
September 13, 2024  
Accepted:  
October 23, 2024

A comprehensive study of problems related to increasing the productivity of crop rotation or individual crops is possible on the basis of obtaining reliable and objective information in the conditions of basic stationary research. Such studies are especially relevant for acidic and unproductive soils, which occupy 10.3 million ha, which is 26.3 % of the total area of Ukraine. The introduction on Albic Pantostagnic Luvisol of 10 t/ha of manure +  $N_{65}P_{68}K_{68}$  on the background of periodic liming with 1.0 n  $CaCO_3$  played a key role in increasing the  $pH_{KCl}$  from 4.2 to 4.9–5.4 and reduction of harmful  $Al^{3+}$  from 60.0 mg/kg of soil to 7.2–3.2 mg/kg, improving the conditions for winter wheat nutrition. There was also a significant increase in the content of humus from 1.41 % to 1.92–2.02 % and provision of winter wheat with nutrients. At the same time, the application of only mineral fertilization systems at the end of the 5th and 11th rotations of the crop rotation in the doses of  $N_{140}P_{180}K_{180}$  and  $N_{65}P_{68}K_{68}$ , respectively, quickly provided the productivity of winter wheat with the necessary nutrients, but their effectiveness was limited without improving the general condition of the soil. As a result of the conducted correlation analysis, it was established that the productivity of winter wheat at the end of the 5th rotation of the seven-field crop rotation under different fertilization and liming systems depended more on physicochemical indicators ( $r = -0.659-0.807$ ), and at the end of the 11th rotation of the four-field crop rotation – on NPK ( $r = 0.715-0.847$ ). At the same time, the closeness of the relationship between productivity and the content of humus in the soil during the cultivation of winter wheat in a four-field crop rotation was somewhat weaker ( $r = 0.727$ ) than in a seven-field crop rotation ( $r = 0.882$ ), however, the correlation coefficients according to the Chaddock's scale refer to one gradation (from 0.7 to 0.9) and indicate a high correlation between indicators.

**Keywords:** soil, fertilizer, crop rotation, winter wheat, productivity, rotation, correlation analysis, relationship.

This is an open-access article under the terms of the Creative Commons.

**Вступ.** На сучасному етапі розвитку земельних відносин проблема підвищення продуктивності лісових ґрунтів у Західному регіоні та усунення несприятливих екологічних чинників і негативних наслідків набуває особливо важливого значення [2, 7, 8].

Приблизно 3,95 млрд га земель на планеті є кислими [24]. В основному вони значно поширені в Америці (40,9 %), Азії (26,4 %), Африці (16,7 %), Європі (9,9 %), Австралії та Новій Зеландії (6,1 %) [18]. В Україні кислі ґрунти займають 10,3 млн га, що становить 26,3 % від загальної площі, тобто кожний 4-й гектар землі є кислим, у зонах Лісостепу та Полісся – майже кожний 2-й (49,7 та 47,4 %) [13].

Ясно-сірі лісові поверхнево оглеєні ґрунти (*Albic Stagnic Luvisols*) переважають на Заході території України. Для них характерна низька природна родючість і підвищена кислотність ґрунтового розчину [22]. Висока кислотність пов'язана з періодично промивним водним режимом і тривалим перезволоженням, що сприяє акумуляції фульвокислот і негативно позначається на продуктивності цих ґрунтів [1, 3, 15].

Ефективне використання таких ґрунтів у системі землеробства можливе лише шляхом підвищення їх родючості. Незбалансоване інтенсивне та техногенне управління ґрунтами може призвести до незворотних втрат родючості, деградації

ґрунтів та погіршення екологічного стану [9, 26]. Тому трансформації ґрунтів потрібно протидіяти розвитком і формуванням родючості науково обґрунтованою системою управління цими процесами. Це передбачає постійне коригування меліоративних і технологічних заходів у відповідь на зміни клімату, ґрунтові процеси, режими та фізіологічні потреби рослин [12, 25]. Такий підхід буде сприяти протидії негативному розвитку ґрунту та формування родючості через науково обґрунтовану систему управління [6, 14]. Для вирішення цієї проблеми важливе всебічне порівняння агрогенно-трансформованих і відносно природних ґрунтів, а також інтерпретація даних попередніх досліджень [21, 23].

Шляхи усунення деградаційних процесів базуються на раціональному і гармонійному поєднанні режиму оптимального водорегулювання із застосуванням комплексу агрозаходів [17, 19]. Ефективна реалізація системи управління родючістю кислих низькопродуктивних ґрунтів може бути досягнута створенням стійких агроєкосистем і оптимізацією рН ґрунтового розчину, які сприяли б підвищенню їх продуктивності та забезпеченню максимального виходу високоякісної сільськогосподарської продукції [16].

Об'єктивну інформацію про стан і зміни властивостей ґрунтів під впливом різних антропогенних навантажень в умовах глобальної зміни клімату можна отримати тільки в базових тривалих стаціонарних дослідках [4, 10, 20].

Метою нашої роботи було в умовах стаціонарного дослідку на кислому ясно-сірому лісовому поверхнево оглеєному ґрунті порівняти ефект тривалого систематичного застосування різних співвідношень і норм внесення органічних, мінеральних добрив і  $\text{CaCO}_3$  у семипільній та чотиріпільній ротаціях сівозміни на продуктивність пшениці озимої Лісостепу Західного.

**Матеріали і методи.** Дослідження проводили на тривалому стаціонарному досліді (49°47'54.3"N 23°52'26.9"E) на базі відділу агрохімії та ґрунтознавства Інституту сільського господарства Карпатського регіону НААН, закладеному в 1965 р. У 2023 р. дослід занесено в Глобальну мережу довготривалих сільськогосподарських експериментів *GLTEN* [5]. Тип ґрунту місця дослідження ясно-сірий лісовий поверхнево оглеєний класифікується згідно з *WRB* (2022) як *Albic Stagnic Luvisol* [27]. Стаціонарний дослід розміщений в природі на трьох полях, кожне з яких налічує 18 варіантів у триразовому повторенні. Розташування варіантів однарусне, послідовне. Загальна площа ділянки становить 168 м<sup>2</sup>, облікова – 100 м<sup>2</sup>. Агротехніка вирощування культур, обробіток ґрунту і догляд за посівами загальноприйняті для умов зони Західного Лісостепу України.

На найбільш характерних варіантах з різними співвідношеннями органічних, мінеральних добрив і вапна висвітлено проблеми підвищення продуктивності пшениці озимої на кислих ясно-сірих лісових поверхнево оглеєних ґрунтах Західного Лісостепу.

З часу закладки дослідку пройшло п'ять семипільних ротацій (1965–2001 рр.) з таким чергуванням культур: картопля – ячмінь ярий з підсівом конюшини лучної – конюшина лучна – пшениця озима – буряки цукрові – кукурудза на силос – пшениця озима. До теперішнього часу дослідження проводяться у чотиріпільній ротації: кукурудза на зерно – ячмінь ярий з підсівом конюшини лучної – конюшина лучна – пшениця озима.

Для порівняння фізико-хімічних і агрохімічних властивостей ґрунту та продуктивності сівозміни використано результати досліджень, отримані на кінець V ротації (1993–2001 рр.) та XI ротації сівозміни (2020–2023 рр.) під пшеницею озимою (середні дані з 3 полів).

Дослідження на кінець V семипільної ротації проводили у варіантах: без добрив (контроль) (вар. 1); вапнування (1,0 н

CaCO<sub>3</sub> за Нг) (вар. 2); лише внесення гною (10 т/га сівозмінної площі) (вар. 3); у поєднанні гній і вапно (1,0 н за Нг + 10 т/га сівозмінної площі) (вар. 4); органо-мінеральної системи удобрення (10 т/га гною + N<sub>70</sub>P<sub>90</sub>K<sub>90</sub> на фоні періодичного вапнування 1,0 н CaCO<sub>3</sub> за Нг) (вар. 7); органо-мінеральної системи удобрення і вапнування 1,5 н CaCO<sub>3</sub> за Нг (вар. 13) та мінеральної (N<sub>140</sub>P<sub>180</sub>K<sub>180</sub>) системи удобрення (вар. 15); на кінець XI чотирипільної ротації у варіантах: без добрив (контроль) (вар. 1); вапнування (1,0 н CaCO<sub>3</sub> за Нг) (вар. 2); лише гній (10 т/га сівозмінної площі) (вар. 3); гній і вапно (1,0 н за Нг + 10 т/га сівозмінної площі) (вар. 4); органо-мінеральної системи удобрення (10 т/га гною + N<sub>65</sub>P<sub>68</sub>K<sub>68</sub> на фоні періодичного вапнування 1,0 н CaCO<sub>3</sub> за Нг) (вар. 7); органо-мінеральної системи удобрення і вапнування 1,5 н CaCO<sub>3</sub> за Нг (вар. 13) та систематичного внесення лише N<sub>65</sub>P<sub>68</sub>K<sub>68</sub> (вар. 15).

Крім того, для встановлення оптимальних параметрів підвищення продуктивності ґрунту та визначення ефективності тривалого застосування різних систем удобрення і періодичного вапнування наведено вихідні дані 1965 р. з верхнього (0–20 см) оглеєного гумусово-елювіального шару HEgl<sub>орн</sub>.

У досліді застосовували напівперепрілий гній ВРХ на солом'яній підстилці, аміачну селітру (34,5 %), гранульований суперфосфат (19,5 %), калійну сіль (40 %), нітроамофоску (НРК по 16 %) (під час використання нітроамофоски вміст НРК збалансовували згідно з рівнями удобрення простими добривами). Гній у семипільній ротації з розрахунку 10 і 20 т/га сівозмінної площі вносили під картоплю і буряки цукрові, у чотирипільній – під кукурудзу. Фосфорно-калійні добрива застосовували восени, азотні – під передпосівну культивуацію.

Вапнування в семипільній сівозміні у І–V ротаціях згідно зі схемою досліді проводили під картоплю; у чотирипільній в V–XI ротаціях – під кукурудзу на зерно, у

якій також відкориговано дозу внесення добрив під культури сівозміни, не порушуючи змісту варіантів. Як вапнякові матеріали використовували вапнякове борошно (90 % CaO). Починаючи з VIII ротації (2008–2011), другий укіс конюшини лучної заорювали як добриво на всіх варіантах досліді.

Аналітичні роботи виконували в атестованій агрохімічній лабораторії (свідоцтво № РЛ 009/22 від 07.02.2022 р., видане ДП «Львівстандартметрологія») Інституту сільського господарства Карпатського регіону НААН за загальноприйнятими стандартизованими в Україні методиками.

Зразки ґрунту відбирали та готували до аналізів згідно з ДСТУ ISO 11464-2001. Фізико-хімічні та агрохімічні аналізи ґрунту проводили за такими методами: вміст загального гумусу – за Тюрнімом у модифікації Б. А. Нікітіна (ДСТУ 4289:2004), рН<sub>KCl</sub> – потенціометричним методом (ДСТУ ISO 10390-2001), визначення гідролітичної кислотності (Нг) – за Каппеном (ДСТУ 7537:2014), обмінної кислотності та рухомого алюмінію (Al<sup>3+</sup>) – за Соколовим, вмісту легкогідролізного азоту (N) – за Корнфілдом (ДСТУ 7863:2015), легкодоступного фосфору (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) та обмінного калію (K<sub>2</sub>O) – за Чиріковим (ДСТУ 4115-2002).

Кореляційну матрицю зв'язку отриманих результатів дослідження визначали за допомогою програмного забезпечення *Excel 2016*. Для оцінки тісноти зв'язку в кореляційному аналізі використовували шкалу Чеддока (*Chaddock's scale*) [11].

**Результати та обговорення.** Отримані результати у довготривалому стаціонарному досліді показали, що фізико-хімічні та агрохімічні показники ясно-сірих лісових поверхнево оглеєних ґрунтів знаходяться у тісному зв'язку із системою удобрення та вапнування. Водночас важливу роль у цьому відіграє і сівозмінний фактор (табл. 1).

# 1. Фізико-хімічні та агрохімічні показники ясно-сірого лісового поверхнево оглеєного ґрунту за різних систем удобрення і вапнування та продуктивність пшениці озимої на кінець V та XI ротаций

№ вар.	Система удобрення	рН <sub>KCl</sub>	Кислотність		Al <sup>3+</sup> , мг/кг ґрунту	Гумус, %	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Продуктивність пшениці озимої, т/га з. о.
			Hг	обмінна						
			мг-екв/100 г ґрунту		Шар ґрунту 0–20 см					
–	Вихідні дані	4,2	4,5	0,60	60,0	1,41	98,5	36,0	50,0	–
1, 10	К	4,1	5,2	1,10	92,1	1,58	111,4	45,2	40,3	1,40
		4,4	4,3	0,83	32,0	1,47	84,4	40,6	46,0	2,03
2	В	5,3	2,2	0,08	3,9	1,61	103,0	41,0	31,2	1,75
		5,6	2,3	0,34	12,6	1,58	87,2	29,3	31,4	2,51
3	Г	4,8	3,5	0,18	10,6	1,80	118,5	43,6	51,4	1,97
		5,0	3,8	0,36	9,9	1,70	88,2	32,3	38,7	2,58
4	ГВ	5,6	2,1	0,06	2,6	1,87	104,2	45,1	58,0	2,16
		5,3	2,4	0,32	6,7	1,82	89,5	33,3	39,0	2,90
7	ОМ <sup>1,0 н</sup>	5,4	2,4	0,08	3,2	2,02	107,2	155,0	133,1	3,22
		4,9	3,1	0,30	7,2	1,92	96,6	157,8	166,1	5,21
13	ОМ <sup>1,5 н</sup>	6,0	1,9	0,06	2,1	2,21	113,4	272,8	194,6	3,47
		5,6	2,4	0,33	3,1	1,72	95,2	148,9	97,3	5,00
15	М	3,8	6,4	1,62	132,0	1,83	112,0	263,3	184,5	1,37
		4,1	4,3	1,55	36,9	1,62	94,0	155,6	126,6	2,65

Примітка: курсивом у таблиці наведено результати на кінець XI ротатії чотириріпільної сівозміни; К – без добрив (контроль), В – вапнування, Г – лише гній, ГВ – поєднання гній і вапно, ОМ<sup>1,0 н</sup> – органо-мінеральна система удобрення на фоні вапнування 1 н СаСО<sub>3</sub> за Нг, ОМ<sup>1,5 н</sup> – органо-мінеральна система удобрення на фоні вапнування 1,5 н СаСО<sub>3</sub> за Нг, М – мінеральна система удобрення.

Вихідний рівень рН<sub>KCl</sub> був досить низьким (4,2). Всі системи удобрення привели до певного поліпшення кислотності ґрунту, однак найбільш ефективними варіантами V та XI ротаций були вапнування, поєднання ГВ та ОМ<sup>1,5 н</sup>. З підвищенням рН спостерігали зниження рівня шкідливого для рослин Al<sup>3+</sup>. Найнижчий вміст рухомого алюмінію зафіксовано у варіантах ГВ (2,6–6,7 мг/кг ґрунту), ОМ<sup>1,0 н</sup> (3,2–7,2 мг/кг ґрунту) та ОМ<sup>1,5 н</sup> (2,1–3,1 мг/кг ґрунту). Водночас на кінець V ротатії семипільної сівозміни внесення в ґрунт лише мінеральних добрив у дозі N<sub>140</sub>P<sub>180</sub>K<sub>180</sub> (вар. 15) сприяло значному його накопиченню (132,0 мг/кг ґрунту) порівняно з варіантом без добрив (92,1 мг/кг ґрунту) (вар. 1).

Вміст гумусу загалом збільшився на всіх варіантах обох ротаций, проте найбільші його значення спостерігали за органо-мінеральних систем удобрення і

вапнування 1,0 та 1,5 н СаСО<sub>3</sub> за Нг, а саме: відповідно 1,92–2,02 і 1,72–2,21 % (табл. 1).

Внесення добрив на кінець обох ротаций привело до значного збільшення вмісту азоту, рухомого фосфору та обмінного калію у ґрунті порівняно з вихідними даними і контролем без добрив.

Отримані результати показали, що найвищі врожаї пшениці озимої на кислих та малозабезпечених поживними речовинами ясно-сірих лісових поверхнево оглеєних ґрунтах отримано на варіантах ОМ<sup>1,0 н</sup> та ОМ<sup>1,5 н</sup>, а також у варіанті поєднання ГВ. Внесення лише NPK на кінець XI ротатії посприяло значному зростанню продуктивності (2,65 т/га з. о.) порівняно з тим самим варіантом на кінець V ротатії (1,37 т/га з. о.). Це свідчить про те, що в умовах Західного Лісостепу поєднання органічних і мінеральних добрив є найбільш ефективним

агрозаходом для підвищення родючості ґрунту та продуктивності пшениці озимої.

За вивчення питань, спрямованих на поліпшення умов вирощування пшениці озимої у різних сівоzmінах, важливим є визначення зв'язку її продуктивності з фізико-хімічними та агрохімічними показниками ґрунту. Такий зв'язок можливо встановити за допомогою кореляційного аналізу, головним завданням якого є визначення форми та щільності зв'язку між досліджуваними ознаками.

Отримані коефіцієнти кореляції свідчать, що на кінець V ротації

семипільної сівоzmіни тіснота зв'язку продуктивності пшениці озимої з фізико-хімічними показниками ґрунту варіювала від помітного до високого ( $r = -0,659-0,807$ ), а з агрохімічними – від слабкого до високого рівня ( $r = 0,004-0,882$ ). Водночас встановлено, що зв'язок з гідролітичною та обмінною кислотністю, а також із вмістом рухомого  $Al^{3+}$  у ґрунті був оберненим, а з рештою показників прямим. Слід зазначити, що найтісніший зв'язок продуктивності спостерігали із  $pH_{KCl}$  ( $r = 0,807$ ) та вмістом гумусу ( $r = 0,882$ ) (табл. 2).

## 2. Кореляційна матриця зв'язку між фізико-хімічними, агрохімічними показниками ясно-сірого лісового поверхнево оглеєного ґрунту та продуктивністю пшениці озимої залежно від різних доз добрив і вапна на кінець V ротації (1993–2001 рр.)

Показники	$pH_{KCl}$	Кислотність		$Al^{3+}$ , мг/кг ґрунту	Гумус, %	N	$P_2O_5$	$K_2O$	Продуктив- ність пшениці озимої, т/га з. о.
		Нг	обмінна						
		мг-екв/100 г ґрунту							
Шар ґрунту 0–20 см									
$pH_{KCl}$	1,000								
Нг, мг-екв/100 г ґрунту	-0,971	1,000							
Обмінна, мг-екв/100 г ґрунту	-0,913	0,972	1,000						
$Al^{3+}$ , мг/кг ґрунту	-0,912	0,970	1,000	1,000					
Гумус, %	0,604	-0,428	-0,364	-0,373	1,000				
N, мг/кг ґрунту	-0,327	0,397	0,263	0,254	0,202	1,000			
$P_2O_5$ , мг/кг ґрунту	0,017	0,191	0,307	0,297	0,706	0,269	1,000		
$K_2O$ , мг/кг ґрунту	0,071	0,139	0,245	0,234	0,776	0,271	0,990	1,000	
Продуктивність пшениці озимої, т/га з. о.	0,807	-0,708	-0,659	-0,661	0,882	0,004	0,422	0,495	1,000

Примітка: лінійна кореляційна залежність від X до Y і діапазон значень (r) за шкалою Чеддока: слабкий – від 0,1 до 0,3; помірний – від 0,3 до 0,5; помітний – від 0,5 до 0,7; високий – від 0,7 до 0,9; вельми високий (сильний) – від 0,9 до 0,99; практично функціональний – від 0,99 до 1.

Проаналізувавши фізико-хімічні та агрохімічні властивості у шарі ґрунту 0–20 см, ми встановили, що гумус мав помітний прямий зв'язок із  $pH_{KCl}$  ( $r = 0,604$ ) та помірний обернений із Нг ( $r = -0,428$ ), обмінною кислотністю ( $r = -0,364$ ) та алюмінієм ( $r = -0,373$ ). Зв'язок NPK із фізико-хімічними показниками ясно-сірого лісового поверхнево оглеєного ґрунту

варіював від слабкого до помірного рівня ( $r = 0,017-0,397$ ).

За результатами проведеного кореляційного аналізу на кінець XI ротації чотирипільної сівоzmіни встановлено, що найбільший вплив на продуктивність пшениці озимої мав вміст гумусу та NPK, про це свідчать отримані коефіцієнти парної кореляції, які знаходилися у межах  $r = 0,715-0,847$  та підтверджували високий

зв'язок між зазначеними показниками. Коефіцієнти кореляції продуктивності із рН, Нг та обмінною кислотністю

відповідали градації помірному зв'язку ( $r = 0,356-0,441$ ), а із вмістом  $Al^{3+}$  – градації помітного зв'язку ( $r = -0,603$ ) (табл. 3).

### 3. Кореляційна матриця зв'язку між фізико-хімічними, агрохімічними показниками ясно-сірого лісового поверхнево оглеєного ґрунту та продуктивністю пшениці озимої залежно від різних доз добрив і вапна на кінець XI ротації (2020–2023 рр.)

Показники	рН <sub>KCl</sub>	Кислотність		$Al^{3+}$ , мг/кг ґрунту	Гумус, %	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Продуктив- ність пшениці озимої, т/га з. о.
		Нг	обмінна						
		мг-екв/100 г ґрунту							
Шар ґрунту 0–20 см									
рН <sub>KCl</sub>	1,000								
Нг, мг-екв/100 г ґрунту	-0,931	1,000							
Обмінна, мг- екв/100 г ґрунту	-0,845	0,735	1,000						
$Al^{3+}$ , мг/кг ґрунту	-0,870	0,813	0,919	1,000					
Гумус, %	0,313	-0,448	-0,482	-0,687	1,000				
N, мг/кг ґрунту	0,029	-0,197	0,043	-0,282	0,689	1,000			
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , мг/кг ґрунту	-0,246	0,087	0,328	0,057	0,384	0,915	1,000		
K <sub>2</sub> O, мг/кг ґрунту	-0,337	0,153	0,267	0,057	0,505	0,880	0,939	1,000	
Продуктивність пшениці озимої, т/га з. о.	0,356	-0,441	-0,404	-0,603	0,727	0,847	0,728	0,715	1,000

Примітка: лінійна кореляційна залежність від X до Y і діапазон значень (r) за шкалою Чеддока: слабкий – від 0,1 до 0,3; помірний – від 0,3 до 0,5; помітний – від 0,5 до 0,7; високий – від 0,7 до 0,9; вельми високий (сильний) – від 0,9 до 0,99; практично функціональний – від 0,99 до 1.

Кореляція між NPK і фізико-хімічними показниками переважно відповідала слабкому рівню ( $r = 0,029-0,282$ ), за винятком K<sub>2</sub>O із рН<sub>KCl</sub> ( $r = -0,337$ ) та P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> і обмінною кислотністю ( $r = 0,328$ ), у цих випадках вона була помірною. Разом із цим встановлено помітний обернений зв'язок гумусу з  $Al^{3+}$  ( $r = -0,687$ ) та помірний із рН<sub>KCl</sub> ( $r = 0,313$ ), Нг ( $r = -0,448$ ) та обмінною кислотністю ( $r = -0,482$ ).

**Висновки.** Таким чином, найвищі врожаї пшениці озимої на кислих та малозабезпечених поживними речовинами ясно-сірих лісових поверхнево оглеєних ґрунтах отримано на варіантах OM<sup>1,0 н</sup> та OM<sup>1,5 н</sup>, а також у варіанті поєднання ГВ. Водночас із підвищенням рН спостерігали

зниження вмісту шкідливого для рослин  $Al^{3+}$ , найнижчий рівень якого зафіксовано у варіантах ГВ (2,6–6,7 мг/кг ґрунту), OM<sup>1,0 н</sup> (3,2–7,2 мг/кг ґрунту) та OM<sup>1,5 н</sup> (2,1–3,1 мг/кг ґрунту). Внесення на кінець XI ротації N<sub>65</sub>P<sub>68</sub>K<sub>68</sub> посприяло значному зростанню продуктивності (до 2,65 т/га з. о.) порівняно з тим самим варіантом дозою N<sub>140</sub>P<sub>180</sub>K<sub>180</sub> на кінець V ротації (1,37 т/га з.о.).

За результатами проведеного кореляційного аналізу встановлено, що продуктивність пшениці озимої кінця V ротації семипільної сівозміни за різних систем удобрення і вапнування більше залежала від фізико-хімічних показників ( $r = -0,659-0,807$ ), а на кінець XI ротації чотиріпільної сівозміни – від NPK

( $r = 0,715-0,847$ ). Водночас тіснота зв'язку продуктивності із вмістом гумусу в ґрунті за вирощування пшениці озимої у чотириріпільній сівозміні була дещо слабшою ( $r = 0,727$ ), ніж у семипільній

### Список використаної літератури

1. Баланс гумусу в чорноземі опідзоленому важкосуглинковому під впливом курячого посліду і компостів на його основі / Є. В. Скрильник та ін. *Вісник аграрної науки*. 2020. № 4. С. 21–27. DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202004-03>.
2. Балюк С. А., Трускавецький Р. С. Ґрунтознавство в Україні: досягнення, пріоритети та перспективи. *Вісник аграрної науки*. 2021. № 12 (825). С. 18–27. DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202112-02>.
3. Вплив систем удобрення на динаміку нестабільних гумусових речовин у короткоротаційних сівозмінах / О. Й. Качмар та ін. *Вісник ЛНАУ: Агрономія*. 2019. № 23. С. 234–237. DOI: <https://doi.org/10.31734/agronomy2019.01.234>.
4. Габриель А. Й., Оліфір Ю. М. Тривалий стаціонарний дослід Інституту сільського господарства Карпатського регіону в контексті його 50-річного функціонування. *Передгірне та гірське землеробство і тваринництво*. 2015. Вип. 58. С. 30–40.
5. Гавришко О. С. Роль глобальної мережі тривалих польових сільськогосподарських дослідів (GLTEN) у практичній підготовці здобувачів вищої освіти в галузі сучасних аграрних наук. Scientific and pedagogical internship «Development trends in the system of agricultural education: Baltic states' experience»: Internship proceedings (Riga, July 3 – August 13, 2023). Riga: Baltija Publishing, 2023. С. 9–12.
6. Меліорація кислих ґрунтів – сучасні думки та шляхи вперед / Р. С. Трускавецький та ін. *Агрохімія і ґрунтознавство*. 2018. Вип. 87. С. 11–15. DOI: <https://doi.org/10.31073/acss87-02>.
7. Позняк С. П., Гнатишин М. А. Глобальна ініціатива «4 PER 1000» та можливості її реалізації в Україні. *Український географічний журнал*. 2021. № 2 (114). С. 11–19. DOI: <https://doi.org/10.15407/ugz2021.02.011>.
8. Продуктивність короткоротаційних сівозмін на осушуваних ґрунтах зони Полісся / А. О. Мельничук та ін. *Вісник аграрної науки*. 2020. № 7. С. 67–73. DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202007-09>.
9. Системний підхід в агроекології: дослідницький і навчальний аспекти / В. В. Снітинський та ін. *Вісник ЛНАУ: Агрономія*. 2019. № 20. С. 6–20. DOI: <https://doi.org/10.31734/agronomy2019.01.034>.
10. Стаціонарні польові дослідження України. Реєстр атестатів / за ред. А. С. Заришняка, С. А. Балюка, М. В. Лісового. Київ: Аграрна наука, 2014. 146 с.

сівозміні ( $r = 0,882$ ), проте коефіцієнти кореляції належать до однієї градації та свідчать про високий зв'язок між показниками.

### References

1. The balance of humus in the degraded heavy clay-loam chernozem under the influence of chicken manure and composts based on it / Ye. V. Skrylnyk et al. *Visnyk ahrarnoi nauky*. 2020. No. 4. P. 21–27. DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202004-03>.
2. Baliuk S. A., Truskavetskyi R. S. Soil science in Ukraine: achievements, priorities, and prospects. *Visnyk ahrarnoi nauky*. 2021. No. 12 (825). P. 18–27. DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202112-02>.
3. Influence of systems of extraction on the dynamics of instable ghumus in brief-rotational crop rotations / O. Y. Kachmar et al. *Visnyk LNAU: Ahronomiia*. 2019. No. 23. P. 234–237. DOI: <https://doi.org/10.31734/agronomy2019.01.234>.
4. Habryiel A. Y., Olifir Yu. M. Long-term stationary experiment of the Institute of agriculture of the Carpathian region in the context of its 50-year functioning. *Peredhirne ta hirske zemlerobstvo i tvarynnytstvo*. 2015. Issue 58. P. 30–40.
5. Havryshko O. S. The role of the global network of long-term agricultural field experiments (GLTEN) in the practical training of higher education students in the field of modern agricultural sciences. Scientific and pedagogical internship «Development trends in the system of agricultural education: Baltic states' experience»: Internship proceedings (Riga, July 3 – August 13, 2023). Riga: Baltija Publishing, 2023. P. 9–12.
6. Acid soils amelioration – modern opinions and ways forward / R. S. Truskavetskyi et al. *Ahrokhimiia i gruntoznavstvo*. 2018. Issue 87. P. 11–15. DOI: <https://doi.org/10.31073/acss87-02>.
7. Pozniak S. P., Hnatyshyn M. A. Global initiative «4 PER 1000» and possibilities of its implementation in Ukraine. *Ukrainskyi heohrafichnyi zhurnal*. 2021. No. 2 (114). P. 11–19. DOI: <https://doi.org/10.15407/ugz2021.02.011>.
8. The productivity of short crop rotations on drained soils in the area of Polissia / A. O. Melnychuk et al. *Visnyk ahrarnoi nauky*. 2020. No. 7. P. 67–73. DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202007-09>.
9. System approach to agroecology: research and educational aspects / V. V. Snitynskyi et al. *Visnyk LNAU: Ahronomiia*. 2019. No. 20. P. 6–20. DOI: <https://doi.org/10.31734/agronomy2019.01.034>.
10. Stationary field test-trials of Ukraine / za red. A. S. Zaryshniaka, S. A. Baliuka, M. V. Lisovoho. Kyiv: Ahrarna nauka, 2014. 146 p.
11. Theory of statistics: a course of lectures / V. P. Storozhuk et al.; za red. Ye. I. Tkacha. Ternopil: Ekonomichna dumka, 2006. Part 1. 224 p.

11. Теорія статистики : курс лекцій / В. П. Сторожук та ін. ; за ред. Є. І. Ткача. Тернопіль : Економічна думка, 2006. Ч. 1. 224 с.
12. Ткаченко М. А., Кондратюк І. М., Павліченко А. І. Відтворення родючості сірого лісового ґрунту за ведення інтенсивного й органічного землеробства. *Землеробство та рослинництво: теорія і практика*. 2021. Вип. 1. С. 13–19.
13. Ткаченко М. А., Борис Н. Є. Оптимізація живлення сільськогосподарських культур за фізико-хімічної деградації кислих ґрунтів. *Вісник аграрної науки*. 2021. Т. 99, № 1. С. 15–22. DOI: <https://doi.org/10.31073/agroviznyk202101-02>.
14. Трускавецький Р., Зубковська В., Хижняк І. Інноваційні моделі управління родючістю ґрунтів. *Вісник ЛНАУ: Агрономія*. 2020. № 24. С. 181–186. DOI: <https://doi.org/10.31734/agronomy2020.01.181>.
15. Фракційний та груповий склад гумусу ясно-сірого лісового поверхнево оглеєного ґрунту за тривалих агрогенних навантажень / Ю. М. Оліфір та ін. *Передгірне та гірське землеробство і тваринництво*. 2023. Вип. 74 (2). С. 96–106. DOI: [https://doi.org/10.32636/01308521.2023-\(74\)-2-9](https://doi.org/10.32636/01308521.2023-(74)-2-9).
16. Ge S., Zhu Z., Jiang Y. Long-term impact of fertilization on soil pH and fertility in an apple production system. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*. 2018. Vol. 18. P. 282–293. DOI: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-95162018005001002>.
17. Hoang Q. V. Influence of 96 years of mineral and organic fertilization on selected soil properties: a case study from long-term field experiments in Skierniewice, central Poland. *Soil Science Annual*. 2023. 74 (1). 161945. DOI: <https://doi.org/10.37501/soilsa/161945>.
18. Implications of Soil-Acidity Tolerant Maize Cultivars to Increase Production in Developing Countries / L. Narro et al. *Plant Nutrient Acquisition* / N. Ae et al., Eds. Tokyo : Springer, 2001. P. 447–463.
19. Influence of prolonged agrogenic transformation on soil structure and physicochemical properties of Ukrainian Albic Stagnic Luvisols: a case study from western Ukraine / O. S. Havryshko et al. *Soil Science Annual*. 2023. Vol. 74 (4). 183659. DOI: <https://doi.org/10.37501/soilsa/183659>.
20. Long-Term Farming Systems Research / G. S. Bhullar, A. Riar (Eds.). Academic Press, 2020. Chapter 1 – Long-term agricultural research at Rothamsted / A. J. Macdonald et al. P. 15–36. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818186-7.00002-3>.
21. Masilionytė L., Maikštėnienė S. The effect of alternative cropping systems on the changes of the main nutritional elements in the soil. *Zemdirbyste-Agriculture*. 2016. Vol. 103 (1). P. 3–10. DOI: <https://doi.org/10.13080/z-a.2016.103.001>.
22. Neina D. The Role of Soil pH in Plant Nutrition and Soil Remediation. *Applied and Environmental Soil Science*. 2019. Vol. 2019. P. 1–9. DOI: <https://doi.org/10.1155/2019/5794869>.
23. Repsiene R., Karcauskiene D. Changes in the chemical properties of acid soil and aggregate stability in
12. Tkachenko M. A., Kondratiuk I. M., Pavlichenko A. I. Restoration of fertility of gray forestal soil by the intensive and organic agriculture management. *Zemlerobstvo ta roslynnystvo: teoriia i praktyka*. 2021. Issue 1. P. 13–19.
13. Tkachenko M. A., Borys N. Ye. Optimization of agricultural nutrition for physico-chemical degradation of acid soils. *Visnyk ahrarnoi nauky*. 2021. Vol. 99, No. 1. P. 15–22. DOI: <https://doi.org/10.31073/agroviznyk202101-02>.
14. Truskavetskyi R., Zubkovska V., Khyzhniak I. Innovative models of soil fertility elements management. *Visnyk LNAU: Ahronomiia*. 2020. No. 24. P. 181–186. DOI: <https://doi.org/10.31734/agronomy2020.01.181>.
15. Fractional and group composition of humus of Albic Pantostagnic Luvisol under long-term agrogenic loads / Yu. M. Olifir et al. *Peredhirne ta hirske zemlerobstvo i tvarynnystvo*. 2023. Issue 74 (2). P. 96–106. DOI: [https://doi.org/10.32636/01308521.2023-\(74\)-2-9](https://doi.org/10.32636/01308521.2023-(74)-2-9).
16. Ge S., Zhu Z., Jiang Y. Long-term impact of fertilization on soil pH and fertility in an apple production system. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*. 2018. Vol. 18. P. 282–293. DOI: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-95162018005001002>.
17. Hoang Q. V. Influence of 96 years of mineral and organic fertilization on selected soil properties: a case study from long-term field experiments in Skierniewice, central Poland. *Soil Science Annual*. 2023. 74 (1). 161945. DOI: <https://doi.org/10.37501/soilsa/161945>.
18. Implications of Soil-Acidity Tolerant Maize Cultivars to Increase Production in Developing Countries / L. Narro et al. *Plant Nutrient Acquisition* / N. Ae et al., Eds. Tokyo : Springer, 2001. P. 447–463.
19. Influence of prolonged agrogenic transformation on soil structure and physicochemical properties of Ukrainian Albic Stagnic Luvisols: a case study from western Ukraine / O. S. Havryshko et al. *Soil Science Annual*. 2023. Vol. 74 (4). 183659. DOI: <https://doi.org/10.37501/soilsa/183659>.
20. Long-Term Farming Systems Research / G. S. Bhullar, A. Riar (Eds.). Academic Press, 2020. Chapter 1 – Long-term agricultural research at Rothamsted / A. J. Macdonald et al. P. 15–36. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818186-7.00002-3>.
21. Masilionytė L., Maikštėnienė S. The effect of alternative cropping systems on the changes of the main nutritional elements in the soil. *Zemdirbyste-Agriculture*. 2016. Vol. 103 (1). P. 3–10. DOI: <https://doi.org/10.13080/z-a.2016.103.001>.
22. Neina D. The Role of Soil pH in Plant Nutrition and Soil Remediation. *Applied and Environmental Soil Science*. 2019. Vol. 2019. P. 1–9. DOI: <https://doi.org/10.1155/2019/5794869>.
23. Repsiene R., Karcauskiene D. Changes in the chemical properties of acid soil and aggregate stability in

the whole profile under long-term management history. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B – Soil & Plant Science*. 2016. Vol. 66 (8). P. 671–676. DOI: <https://doi.org/10.1080/09064710.2016.1200130>.

24. Sumner M. E., Noble A. D. Soil Acidification: The World Story. *Handbook of Soil Acidity* / Z. Renge, Ed. New York : CRC Press, 2003. P. 1–28.

25. Transformations of different soils under natural and anthropogenized land management / J. Volungevičius et al. *Zemdirbyste-Agriculture*. 2019. No. 106. P. 3–14. DOI: <https://doi.org/10.13080/z-a.2019.106.001>.

26. Veenstra J., Burras C. Soil profile transformation after 50 years of agricultural land use. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 2015. Vol. 79 (4). P. 1154–1162. DOI: <https://doi.org/10.2136/sssaj2015.01.0027>.

27. World Reference Base for Soil Resources. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps / International Union of Soil Sciences (IUSS). 4th edition. Vienna, 2022. 236 p.

*Soil & Plant Science*. 2016. Vol. 66 (8). P. 671–676. DOI: <https://doi.org/10.1080/09064710.2016.1200130>.

24. Sumner M. E., Noble A. D. Soil Acidification: The World Story. *Handbook of Soil Acidity* / Z. Renge, Ed. New York : CRC Press, 2003. P. 1–28.

25. Transformations of different soils under natural and anthropogenized land management / J. Volungevičius et al. *Zemdirbyste-Agriculture*. 2019. No. 106. P. 3–14. DOI: <https://doi.org/10.13080/z-a.2019.106.001>.

26. Veenstra J., Burras C. Soil profile transformation after 50 years of agricultural land use. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 2015. Vol. 79 (4). P. 1154–1162. DOI: <https://doi.org/10.2136/sssaj2015.01.0027>.

27. World Reference Base for Soil Resources. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps / International Union of Soil Sciences (IUSS). 4th edition. Vienna, 2022. 236 p.