

DOI: 10.32636/01308521.2023-(74)-2-9

**Оригінальна наукова стаття**

УДК 631.872: 631.445.2: 631.816.1

**ФРАКЦІЙНИЙ ТА ГРУПОВИЙ СКЛАД ГУМУСУ  
ЯСНО-СІРОГО ЛІСОВОГО ПОВЕРХНЕВО ОГЛЕЄНОГО ҐРУНТУ  
ЗА ТРИВАЛИХ АГРОГЕННИХ НАВАНТАЖЕНЬ****Ю. М. Оліфір, А. Й. Габриель, О. С. Гавришко, 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:

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

Анна ГАБРИЕЛЬ,  
кандидат сільськогосподарських  
наук  
ORCID: 0000-0003-4379-3269

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

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

Надія КОЗАК,  
ORCID: 0000-0002-2809-2432

Для листування:

Юрій ОЛІФІР  
e-mail: [olifir.yura@gmail.com](mailto:olifir.yura@gmail.com)

Інформація про фінансування:

Національна академія аграрних  
наук України

Отримано:  
19 липня 2023 р.  
Погоджено до друку:  
17 жовтня 2023 р.

Особливу роль у генезі та формуванні родючості ґрунту, охороні навколишнього середовища та сталому розвитку сільського господарства відіграє органічна речовина ґрунту та її головний специфічний елемент – гумус. Всебічне вивчення режиму органічної речовини ґрунту, трансформаційних процесів зміни вмісту і якісних показників гумусу можливе на основі отримання вірогідної та об'єктивної інформації в умовах базових тривалих стаціонарних досліджень. Такі дослідження є особливо актуальні для ясно-сірих лісових поверхнево оглеєних ґрунтів з низьким вмістом гумусу та високою кислотністю ґрунтового розчину, що займають значні площі у Карпатському регіоні. Відомо, що антропогенне навантаження на агроландшафти цих ґрунтів у сучасних умовах має тенденцію до посилення і є вирішальним чинником, що спричинює деградацію ґрунтів і ґрунтового покриву, особливо за умов зміни клімату. 50-річні дослідження проведені в умовах довготривалого стаціонарного досліду свідчать про те, що груповий склад гумусу є прямим наслідком процесів трансформації органічної речовини та тісно пов'язаний із з системою землеробства. Органо-мінеральна система удобрення з внесенням у чотирипільній сівозміні  $N_{65}P_{68}K_{68}$ , гною 10 т/га сівозмінної площі на фоні вапнування 1,0 н  $CaCO_3$  за Нг на кінець VIII ротації в найбільшій мірі інтенсифікує процеси гумусонагромадження. При цьому вміст гумусу зростає до 1,91 % з одночасним покращенням його групового складу до 0,79 проти 0,63 на контролі без добрив шляхом зниження вмісту фульвокислот. Мінеральна система удобрення на ясно-сірих лісових ґрунтах ефективна лише на фоні вапнування. Внесення самих мінеральних добрив сприяє подальшій фульватизації гумусу шляхом зростання вмісту «агресивних» фульвокислот. Як наслідок, груповий склад гумусу наближається до контрольного варіанту і становить 0,63, а вміст гумусу зростає до 1,60 % проти 1,53 % на контролі без добрив.

**Ключові слова:** ґрунт, гумус, мінеральні добрива, гній, вапнування, кислотність, сівозміна.

Стаття з відкритим доступом на умовах ліцензії Creative Commons.

© Оліфір Ю. М., Габриель А. Й., Гавришко О. С., Партика Т. В., Козак Н. І., 2023

## Fractional and group composition of humus of light-gray forestal surface-gleyed soil under long-term agrogenic loads

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

### About authors:

Yurii OLIFIR  
ORCID: 0000-0002-7920-1854

Anna HABRYEL  
ORCID: 0000-0003-4379-3269

Oleh HAVRYSHKO  
ORCID: 0000-0002-5458-0691

Tetiana PARTYKA  
ORCID: 0000-0001-7912-5292

Nadiia KOZAK  
ORCID: 0000-0002-2809-2432

### For corresponding:

Yurii OLIFIR  
*e-mail: olifir.yura@gmail.com*

### Funding information:

National Academy of Agrarian  
Sciences of Ukraine

Received:  
July 19, 2023  
Accepted:  
October 17, 2023

A special role in the genesis and formation of soil fertility, environmental protection and sustainable development of agriculture is played by organic matter of the soil and its most stable important component – humus. A comprehensive study of the regime of soil organic matter, transformation processes of changes in content and quality indicators of humus is possible on the basis of obtaining reliable and objective information in the conditions of basic long-term stationary studies. Such studies are especially relevant for light-gray forestal surface-gleyed soils with low humus content and high acidity of the soil solution, which occupy large areas in the Carpathian region. It is known that the anthropogenic load on the agricultural landscapes of these soils in modern conditions tends to increase and is a decisive factor causing the degradation of soils and soil cover, especially under conditions of climate change. 50-year studies conducted in the conditions of a long-term stationary experiment show that the group composition of humus is a direct consequence of the processes of transformation of organic matter and is closely related to the agricultural system. The organo-mineral fertilization system with the application of  $N_{65}P_{68}K_{68}$  manure in a four-field crop rotation, 10 t/ha of the crop rotation area on the background of liming of 1.0 n  $CaCO_3$  per Hg at the end of the VIII th rotation, to the greatest extent intensifies the processes of humus accumulation. At the same time, the content of humus increases to 1.91% with a simultaneous improvement of its group composition to 0.79 against 0.63 in the control without fertilizers due to a decrease in the content of fulvic acids. The mineral fertilization system on light-gray forestal soils is effective only on the background of liming. The introduction of mineral fertilizers contributes to the further fulvatization of humus due to the increase in the content of "aggressive" fulvic acids. As a result, the group composition of humus approaches the control variant and is 0.63. The humus content increases to 1.60% against 1.53% in the control without fertilizers.

**Keywords:** soil, humus, mineral fertilizers, manure, liming, acidity, crop rotation.

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

**Вступ.** Органічна речовина ґрунту завжди була в центрі підвищеної уваги вчених і практиків. Це пов'язано з тим, що вона є одним із найважливіших факторів, який визначає агрономічний потенціал ґрунту. Ґрунтоутворення, як процес формування ґрунту, зумовлюється утворенням і нагромадженням гумусових речовин. Вони є однією з форм консервації вуглецю, що пройшов через біотичний колообіг [8].

Ґрунтовий гумусний ресурс як один із ключових чинників продуктивності земельних угідь потребує постійного

відтворення. Проте оптимальні параметри його вмісту та якості в різноманітних ґрунтових типах, так звані критичні зони, ще недостатньо досліджено [2].

Органічній речовині, зокрема, гумусу відводиться провідна роль у формуванні родючості ґрунту, охороні навколишнього середовища та сталому розвитку сільського господарства [31, 33]. Гумус є основою регулювання фізико-хімічних, агрофізичних та біологічних властивостей ґрунту, а його вміст визначає спрямованість ґрунтових процесів, екологічний стан і продуктивність ґрунтів [1, 35]. Водночас

гумус – відносно динамічна складова частина ґрунту, яка зазнає кількісних та якісних змін під впливом низки чинників, серед яких найвагомішою є виробнича діяльність людини [16, 33].

Збереження органічної речовини у ґрунтах орних земель є важливою стратегією, яка має подвійну мету: підвищення родючості ґрунту та пом'якшення впливу зміни клімату [25]. Проте, питання як зберегти стабільність накопиченого вуглецю та в якому напрямі йдуть процеси його трансформації при тривалому внесенні добрив, є надзвичайно інформативними, але і недостатньо вивченими.

В сучасних умовах особливої актуальності набули дослідження не просто загальної параметричної характеристики вмісту гумусу, але діагностики змін його складових під впливом антропогенних факторів [12]. Формування гумусного стану сучасних ґрунтів в агроекосистемах залежить від впливу не тільки природних, але, більшою мірою, агротехногенних факторів [22].

Серед інших факторів значний вплив на органічний вуглець у ґрунті має також кислотність [30]. Підвищення рН ґрунту вивільняє більше іонів  $\text{Ca}^{2+}$ , що сприяє утворенню мінерально-органічних хімічних комплексів, які зрештою можуть утримувати органічний вуглець на своїх поверхнях [27]. В кислих ґрунтах власне через кислую реакцію гумусові речовини збагачені рухомими сполуками, які слабко утримуються мінеральною частиною ґрунту [14].

Основним джерелом утворення і поповнення запасів гумусу є внесення у ґрунт органічних добрив та достатня кількість органічних решток рослин [3, 11, 16, 20]. Значна роль відводиться сівозмінному фактору та застосуванню мінеральних добрив, які впливають як прямо, так і опосередковано [3, 11, 21]. Проте мінеральні добрива, зокрема азотні, здатні підкислювати ґрунт, що призводить до підвищення розчинності гумусу і зростання його рухомості [32].

Опосередкована дія мінеральних добрив полягає в тому, що на удобрених варіантах урожаї вирощуваних культур дещо вищі, тому залишається більше рослинних решток, які виступають матеріалом для утворення гумусу [21, 26]. Згідно [32] акумуляція гумусу в ґрунті передусім залежить від співвідношення надходження органічної речовини та її втрат унаслідок мінералізації.

Склад органічної речовини ґрунту, її запаси та особливості якісних характеристик є основними індикаторами потенційної родючості. Зміна параметрів значною мірою залежить від інтенсивності способів землеробства, в першу чергу від системи застосування добрив [4].

Основну частину органічної речовини ґрунту (85–90 %) становлять високомолекулярні гумусові сполуки – гумінові й фульвокислоти [26]. Кількісний їх вміст є важливим індикатором якості гумусу, а співвідношення гумінових і фульвокислот (Сгк/Сфк) є діагностичним показником спрямованості зміни стану органічної речовини ґрунту та визначає тип гумусу [4]. Саме співвідношення гумінових кислот до фульвокислот, а також їх зміна є надзвичайно важливими у характеристиці гумусного стану орних земель внаслідок агрогенної трансформації ґрунту [34].

Як правило, окультурення бідних на поживні речовини підзолистих ґрунтів супроводжується зростанням частки гумінових кислот і зниженням «агресивних» фульвокислот [14]. Поліпшення гумусного стану шляхом інтенсифікації процесів гуміфікації – основний шлях відтворення, збереження й охорони родючості ґрунтів та підвищення екологічної стабільності агроландшафтів [15].

У науковій літературі простежується складність досліджень органічної речовини ґрунту і гумусу, наявність численних розбіжностей у поглядах, що спонукає неодноразово повертатися до перегляду основних положень, які стосуються самого факту існування гумусових речовин та їх природи [13]. На даний час є суперечливі

погляди щодо функціональної ролі окремих фракцій та груп гумусових речовин. Деякі вчені повністю заперечують концепцію гумінових речовин [24], інші стверджують, що вона є важливою [23].

Тому всебічне вивчення режиму органічної речовини ґрунту, трансформаційних процесів зміни вмісту і якісних показників гумусу за тривалих агрогенних впливів є надзвичайно актуальним для ясно-сірих лісових поверхнево оглеєних ґрунтів з низьким вмістом гумусу та високою кислотністю ґрунтового розчину. Дослідження з окресленої проблеми в зоні поширення ясно-сірих лісових поверхнево оглеєних ґрунтів є обмеженими.

Ясно-сірі лісові поверхнево оглеєні ґрунти з кислою реакцією ґрунтового розчину, що займають значні площі у Лісостепу Західному, належать до низькородючих земель, рівень продуктивності яких не перевищує 1,3–1,5 т/га зернових одиниць [9]. Антропогенне навантаження на агроландшафти цих ґрунтів у сучасних умовах має тенденцію до посилення і є вирішальним чинником, що спричинює деградацію ґрунтів і ґрунтового покриву, особливо за умов зміни клімату. Упродовж останніх 150 років власне антропогенна діяльність призвела до розбалансованості процесів, наслідком чого стало виснаження ґрунтів і зменшення у них вмісту органічного вуглецю, а також посилення глобальних змін клімату [10].

Мета дослідження – з'ясувати чинники й ступені змін фракційного та групового складу гумусу упродовж 50-річного циклу сівозмін з різними наборами культур та системами удобрення й вапнування ясно-сірого лісового поверхнево оглеєного ґрунту у Західному Лісостепу.

**Матеріали і методи.** Вірогідну та об'єктивну інформацію щодо вдосконалення управління родючістю і продуктивністю агроценозів ясно-сірих лісових поверхнево оглеєних ґрунтів можна отримати лише на основі

технологій, які побудовані на принципах охорони природних ресурсів, процесів посилення саморегуляції, відновлення сталого функціонування агроєкосистем [17]. В цьому зв'язку особливої уваги заслуговують результати отримані у базових тривалих стаціонарних дослідках, одним із яких є стаціонар закладений в Інституті сільського господарства Карпатського регіону НААН на ясно-сірому лісовому поверхнево оглеєному ґрунті в 1965 р. з різними дозами й співвідношеннями мінеральних добрив, гною і вапна.

Стаціонарний дослід занесений у реєстр довгострокових стаціонарних польових дослідів НААН (атестат реєстрації НААН № 29), розміщений в натурі на трьох полях, кожне з яких налічує 18 варіантів у триразовому повторенні. Розташування варіантів одноярусне, послідовне. Загальна площа ділянки становить 168 м<sup>2</sup>, облікова – 100 м<sup>2</sup>.

Від початку дослід був закладений у семипільній сівозміні: картопля – ярий ячмінь з підсівом конюшини лучної – конюшина лучна – пшениця озима – буряки цукрові – кукурудза на зелену масу – пшениця озима. Після проходження п'яти семипільних ротацій дослід реконструйовано зі збереженням змісту варіантів та зниженням рівнів внесення мінеральних добрив. На сьогодні сівозміна чотиріпільна із таким чергуванням культур: кукурудза на силос – ячмінь ярий з підсівом конюшини лучної – конюшина лучна – пшениця озима (табл. 1). Агротехніка вирощування культур, обробіток ґрунту і догляд за посівами загальноприйняті для умов зони Західного Лісостепу.

Агрохімічна характеристика орного шару ґрунту до закладки дослідку така: вміст гумусу (за Тюрнімом) – 1,42 %, рН<sub>KCl</sub> – 4,2, гідролітична кислотність (за Каппеном) – 4,5, обмінна (за Соколовим) – 0,6 мг-екв/100 г ґрунту, вміст рухомого алюмінію – 60,0, рухомого фосфору (за Кірсановим) і обмінного калію (за

Масловою) – 36,0 і 50,0 мг/кг ґрунту відповідно.

У досліді застосовували напівперепрілий гній ВРХ на солончій підстилці, аміачну селітру (34,5 %), гранульований суперфосфат (19,5 %), калійну сіль (40 %), нітроамфоску (NPK по 16 %). Гній (40–60 т/га) вносили під кукурудзу. Фосфорно-калійні добрива вносили восени, а азотні – під передпосівну культивування. Вапнування згідно зі схемою досліді проводили перед початком ІХ ротації сівозміни, у якій також скориговано дози внесення добрив під культури сівозміни. Як вапнякові матеріали використовували вапнякове борошно (93,5 %  $\text{CaCO}_3$ ). Починаючи з VIII ротації другий укіс конюшини лучної заорювали як органічне добриво на всіх варіантах досліді.

Дослідження зміни гумусного стану проводили у варіантах: абсолютного контролю (без внесення добрив), органо-мінеральної системи удобрення (10 т/га сівозмінної площі гною +  $\text{N}_{65}\text{P}_{68}\text{K}_{68}$ ) на фоні періодичного вапнування 1,0 н  $\text{CaCO}_3$  за НГ (6,0 т/га вапнякового борошна), мінеральної системи удобрення ( $\text{N}_{65}\text{P}_{68}\text{K}_{68}$ ) та мінеральної системи удобрення  $\text{N}_{105}\text{P}_{101}\text{K}_{101}$  на фоні 1,5 н  $\text{CaCO}_3$  за НГ (9,0 т/га).

Зразки ґрунту для визначення фізико-хімічних властивостей відбирали на досліджуваних варіантах ясно-сірого лісового поверхнево оглеєного ґрунту та готували до аналізів згідно з ДСТУ ISO 11464-2001. Кількість і якість органічних речовин у складі ґрунту визначали такими методами: вміст органічної речовини – методом Тюріна за ДСТУ 4289:2004; груповий склад гумусу – методом Тюріна у модифікації Конової та Бельчикової (ДСТУ 7855:2015), фракційний склад гумусу за методом Тюріна у модифікації Пономарьової та Плотникової (ДСТУ 7828:2015).

У статті за умов стаціонарних режимних досліджень, проведених протягом 50 років, ми представляємо вплив різних систем удобрення і вапнування ясно-

сірого лісового поверхнево оглеєного ґрунту на динаміку зміни вмісту загального гумусу та його якісного складу на кінець V та VIII ротацій сівозміни.

Статистичну обробку отриманих результатів досліджень здійснювали з використанням програмного забезпечення OriginPro 2019b (OriginLab Corporation, USA, 2019). Відмінності між зразками вважали статистично значущими при  $p < 0,05$ . Дані в таблиці та рисунках представлені як середнє арифметичне зі стандартним відхиленням ( $\bar{x} \pm \text{SD}$ ).

### Результати та обговорення.

Отримані результати у довготривалому стаціонарному досліді свідчать про те, що на ясно-сірих лісових поверхнево оглеєних ґрунтах, які належать до малозабезпечених поживними елементами, характер і швидкість утворення гумусу знаходяться у тісному зв'язку із системою удобрення вирощуваних культур та вапнування. Водночас важливу роль відіграє і сівозмінний фактор.

Проведені дослідження після закінчення 5 семирічних ротацій показали, що гумус ясно-сірого лісового поверхнево оглеєного ґрунту характеризується переважанням вмісту фульвокислот (ФК) над гуміновими (ГК), а їх кількість на контролі в гумусі становить 54 % проти 28 % гумінових кислот в орному шарі ґрунту. Відношення вуглецю гумінових до фульвокислот (далі  $\text{C}_{\text{ГК}} : \text{C}_{\text{ФК}}$ ) рівне 0,51, тобто даний тип гумусу згідно з класифікацією Пестрякова відноситься до фульватного (табл. 1). Власне співвідношення гумінових до фульвокислот показує зв'язок між гуміфікацією і мінералізацією, а також інтенсивність і стійкість використання ґрунтів у сільському господарстві [34].

Найвищий вміст фульвокислот у складі гумусу на варіантах досліді з часу його закладки спостерігається після закінчення V семирічної ротації при систематичному внесенні протягом 35 років високих доз мінеральних добрив (у нормі  $\text{N}_{163}\text{P}_{154}\text{K}_{180}$  кг/га сівозмінної площі). При цьому співвідношення  $\text{C}_{\text{ГК}} : \text{C}_{\text{ФК}}$

зменшилось до 0,45 навіть порівняно з контролем, на якому це співвідношення становить 0,51. Вказана доза добрив на фоні 1,5 н CaCO<sub>3</sub> за Нг покращує груповий склад гумусу до 0,70 шляхом зниження вмісту фульвокислот (ФК) у складі гумусу

(табл. 1). Зменшення у складі гумусу найціннішої фракції гумінових кислот і збільшення вмісту фульвокислот є ознакою розвитку процесів рухомості органічної речовини, зниження рівня родючості ґрунту, що веде до деградації.

### 1. Зміна вмісту групового складу гумусу ясно-сірого лісового поверхнево оглеєного ґрунту залежно від систем удобрення і вапнування

№ вар.	Удобрення 1 га сівозмінної площі	Загальний гумус, %	Вміст у гумусі, %		Сгк : Сфк
			гумінових кислот (Сгк)	фульвокислот (Сфк)	
Кінець V ротації					
1	Контроль (без добрив)	1,42	28,0	54,0	0,51
7	N <sub>81</sub> P <sub>77</sub> K <sub>90</sub> + Гній 10 т/га + 1,0 н CaCO <sub>3</sub> за Нг	1,84	32,0	49,0	0,65
15	N <sub>163</sub> P <sub>154</sub> K <sub>180</sub>	1,50	27,0	60,0	0,45
17	N <sub>163</sub> P <sub>154</sub> K <sub>180</sub> + 1,5 н CaCO <sub>3</sub> за Нг	1,64	34,0	48,5	0,70
	НІР <sub>05</sub>	0,05	1,2	1,3	0,03
Кінець VIII ротації					
1	Контроль (без добрив)	1,50	29,9	47,1	0,63
7	N <sub>65</sub> P <sub>68</sub> K <sub>68</sub> + Гній 10 т/га + 1,0 н CaCO <sub>3</sub> за Нг	1,91	31,8	40,1	0,79
15	N <sub>65</sub> P <sub>68</sub> K <sub>68</sub>	1,60	28,0	44,0	0,63
17	N <sub>105</sub> P <sub>101</sub> K <sub>101</sub> + 1,5 н CaCO <sub>3</sub> за Нг	1,76	30,4	41,1	0,74
	НІР <sub>05</sub>	0,05	1,3	1,5	0,04

Згідно з Ю. Л. Цапко та ін. (2018) у кислих ґрунтах переважання протонної складової через надлишкову кількість протонів (H<sup>+</sup>) веде до руйнації фульватних комплексів, у тому числі й циклічної будови. Фульвокислоти не мають такої високої стійкості до кислотного гідролізу та деструкції (розкладу), як гумінові кислоти [19].

Подальше фракціонування гумусу показало, що у складі фульвокислот переважають новоутворені й рухомі органічні речовини (фракції 1«а» і 1), що зазнають в першу чергу суттєвих змін під впливом антропогенних чинників. У варіантах контролю та, особливо, мінеральної системи удобрення на кінець V ротації вміст цієї фракції у гумусі найвищий і становить відповідно 27,7 та 37,1 %, що сприяло фульватизації гумусу та погіршенню якісного складу, знижуючи

співвідношення Сгк : Сфк відповідно до 0,51–0,45.

Вміст фульвокислот фракції 2, зв'язаної з кальцієм, є найнижчим і становить за цих умов 5,80 на контролі та 2,06 % за мінеральної системи удобрення. За органо-мінеральної системи удобрення та мінеральної на фоні вапнування вміст фульвокислот пов'язаних з кальцієм зростає до 6,96 та 9,37 % (табл. 2).

Фракція 3 у складі фульвокислот входить до складу хімічно стійкої частини гумусу, відтак її втрати мало змінювалися за варіантами дослідження. Фракції гумінових кислот у складі гумусу пов'язані із відповідними фракціями фульвокислот. У їх складі найменший вміст припадає на фракцію 2, пов'язану із кальцієм. Найвищий вміст гумінових у складі гумусу 3 фракції становить 16,5 % у варіанті

мінеральної системи удобрення та 20,9 % – на контролі (в кінці V ротації).

Важливою ознакою сталого ведення сільського господарства, що впливає на основні властивості ґрунту є сівозміна [28]. Заміна семипільної сівозміни на чотирипільну передбачала у вилучення просапних культур: буряків цукрових і картоплі. Вилучення пшениці озимої разом з указаними просапними зумовило зниження втрат після п'яти семипільних ротацій гумусу від надмірної мінералізації, пов'язаної цими культурами (високим виносом урожаєм поживних речовин, так і способами обробітку), тому позитивно впливало на процеси гуміфікації. Після

трьох чотирипільних ротацій (на кінець VIII ротації) в першу чергу у варіантах контролю та мінерального удобрення вміст ФК знижується в найбільшій мірі, внаслідок чого співвідношення Сгк : Сфк зростає до 0,63. Очевидно, цьому сприяло у варіанті мінеральної системи удобрення припинення внесення високих доз мінеральних добрив на фоні значної кількості залишкових фосфатів алюмінію та заліза, які згідно з проведеними дослідженнями у стаціонарному досліді становлять 553,0 і 562,0 мг/кг ґрунту відповідно [5].

## 2. Фракційний склад гумусових кислот ясно-сірого лісового поверхнево оглеєного ґрунту

№ вар.	Удобрення 1 га сівозмінної площі	Загальний гумус, %	Фракція фульвокислот				Фракція гумінових кислот		
			1«а»	1	2	3	1	2	3
Кінець V ротації									
1	Контроль (без добрив)	1,42	15,0	12,70	5,80	13,95	14,00	5,80	20,90
7	N <sub>81</sub> P <sub>77</sub> K <sub>90</sub> + Гній 10 т/га + 1,0 н СаСО <sub>3</sub> за Нг	1,84	2,60	17,40	6,96	12,20	16,00	6,00	17,40
15	N <sub>163</sub> P <sub>154</sub> K <sub>180</sub>	1,50	13,40	23,70	2,06	15,50	8,00	5,10	16,50
17	N <sub>163</sub> P <sub>154</sub> K <sub>180</sub> + 1,5 н СаСО <sub>3</sub> за Нг	1,64	9,30	15,60	9,37	12,50	12,50	9,30	20,80
	НІР <sub>05</sub>		0,7	0,8	0,4	0,7	0,9	0,6	0,8
Кінець VIII ротації									
1	Контроль (без добрив)	1,50	8,04	14,50	5,70	13,80	8,04	4,59	11,50
7	N <sub>65</sub> P <sub>68</sub> K <sub>68</sub> + Гній 10 т/га + 1,0 н СаСО <sub>3</sub> за Нг	1,91	4,51	14,40	8,13	10,80	9,80	8,22	10,80
15	N <sub>65</sub> P <sub>68</sub> K <sub>68</sub>	1,60	7,54	15,10	5,38	14,00	8,38	4,30	9,69
17	N <sub>105</sub> P <sub>101</sub> K <sub>101</sub> + 1,5 н СаСО <sub>3</sub> за Нг	1,76	5,88	13,70	6,86	13,70	9,80	5,88	11,80
	НІР <sub>05</sub>		0,6	0,9	0,5	0,9	0,8	0,6	0,6

Відомо, що тривале розорювання ґрунтів та їх сільськогосподарське використання без достатнього внесення добрив призводить до значних утрат гумусу [18]. У наших дослідженнях на кінець восьмої чотирипільної ротації загальний вміст гумусу на контролі стабілізувався на рівні 1,50 %. У варіантах мінеральної системи удобрення загальний вміст гумусу за цих умов становить 1,60 %. Груповий склад гумусу покращився до 0,63 на

контролі та за мінерального удобрення, в першу чергу, як показали наші дослідження [7] шляхом зниження вмісту «агресивних» ФК до 7,54 у варіанті мінерального удобрення та до 8,04 % на контролі.

Вирощування у сівозміні на ясно-сірому лісовому поверхнево оглеєному ґрунті картоплі та буряків цукрових в умовах періодично промивного водного режиму супроводжувалося надмірною мінералізацією, втратою рухомих сполук

гумусу та зростанням кислотності. Виключення із сівозміни інтенсивних сільськогосподарських культур картоплі та буряків цукрових сприяли зниженню кислотності ґрунтового розчину та відновленню посівів конюшини лучної особливо у варіантах контролю та мінерального удобрення, органічні рештки якої разом із заорюванням другого укосу мають значний гумусонагромаджувальний ефект. Очевидно, це сприяло подальшому зниженню вмісту рухомих фульвокислот з 54,0 % на контролі в кінці V ротації до 47,1 % в кінці VIII та 46,9 % в кінці X ротації. При мінеральній системі удобрення динаміка зміни фульвокислот у складі гумусу становила 60 % – в кінці V ротації, 44 % – на кінець VIII ротації та 39,5 % в кінці X ротації. Як наслідок, тип гумусу варіантів контролю та інтенсивного мінерального удобрення змінився від фульватного до гуматно-фульватного. Таким чином отримані результати свідчать про те, що груповий склад гумусу є прямим наслідком процесів трансформації органічної речовини, та тісно пов'язаний із з системою землеробства. Аналогічні результати отримані у дослідженнях Г. А. Мазура та ін. (2009) на сірих лісових ґрунтах [6].

Аналізуючи результати досліджень групового та фракційного складу гумусу після завершення восьмої ротації, слід підкреслити, що сумісне внесення на ясно-сірому лісовому поверхнево оглеєному ґрунті протягом п'яти семипільних ротацій мінеральних добрив у нормі  $N_{81}P_{77}K_{90}$  та трьох чотиріпільних ротацій  $N_{65}P_{68}K_{68}$ , гною 10 т/га сівозміної площі на фоні 1,0 н  $CaCO_3$  за Нг в найбільшій мірі сприяє гумусонагромадженню і супроводжується характерними змінами: у груповому складі гумусу зростає загальний вміст гумінових кислот, до 31,8 % при підвищенні вмісту загального гумусу до 1,91 %. Подібні

результати досліджень були отримані М. Voitovyk et al. (2023) в яких встановлено, що за орґано-мінеральної системи удобрення збільшується кількість гумінових кислот, з одночасним підвищенням вуглецю нерозчинного залишку [29].

Тривале застосування мінеральних добрив на ясно-сірому лісовому поверхнево оглеєному ґрунті ефективно лише на фоні вапнування. Трансформація органічної речовини ґрунту за використання мінеральної системи удобрення на фоні вапнування 1,5 н  $CaCO_3$  за Нг набуває акумулятивного характеру. При цьому вміст гумусу зростає до 1,76 %, а груповий склад покращується до 0,74 % (див. табл. 1).

**Висновки.** 50 річні дослідження, проведені в умовах стаціонарного досліду свідчать про те, що на низькобуферних ясно-сірих лісових поверхнево оглеєних ґрунтах орґано-мінеральна система удобрення з внесенням у чотиріпільній сівозміні  $N_{65}P_{68}K_{68}$ , гною 10 т/га сівозміної площі на фоні вапнування 1,0 н  $CaCO_3$  за Нг на кінець VIII ротації в найбільшій мірі інтенсифікує процеси гумусонагромадження. При цьому вміст гумусу зростає до 1,91 % з одночасним покращенням його групового складу до 0,79 проти 0,63 на контролі без добрив шляхом зниження вмісту фульвокислот.

Мінеральна система удобрення на ясно-сірих лісових поверхнево оглеєних ґрунтах ефективна лише на фоні вапнування. Внесення мінеральних добрив без вапнування сприяє подальшій фульватизації гумусу шляхом зростання вмісту «агресивних» фульвокислот. Як наслідок, груповий склад гумусу наближається до контрольного варіанту і становить 0,63, а вміст гумусу зростає до 1,60 % проти 1,53 % на контролі без добрив.

#### Список використаної літератури

1. Баланс гумусу в чорноземі опідзоленому важкосуглинковому під впливом курячого посліду і компостів на його основі / Є. В. Скрильник та ін.

#### References

1. The balance of humus in podsolized heavy-loamy chernozem under the influence of chicken droppings and composts based on it / Ye. V. Skrylnyk et al. *Visnyk*



*Вісник аграрної науки*. 2020. № 4. С. 21–27. DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202004-03>.

2. Балюк С. А., Трускавецький Р. С. Грунтознавство 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 сівознах / О. Й. Качмар та ін. *Вісник ЛНАУ: Агрономія*. 2019. № 23. С. 234–237. <https://doi.org/10.31734/agronomy2019.01.234>.

4. Вплив систем удобрення на органічну речовину та агрохімічні показники чорнозему типогого / Є. В. Скрильник та ін. *Агрохімія і ґрунтознавство*. 2019. Вип. 88. С. 74–78. DOI: <https://doi.org/10.31073/acss88-10>.

5. Габриєль А. Й., Оліфір Ю. М., Петрунів І. І. Фракційний склад фосфатів ясно-сірого лісового ґрунту за різних систем його використання. *Передгірне та гірське землеробство і тваринництво*. 2006. Вип. 48. Ч. I. С. 38–42.

6. Гумусний стан сірого лісового ґрунту залежно від хімічної меліорації та системи удобрення / Г. А. Мазур та ін. *Збірник наукових праць ННЦ “Інститут землеробства УААН”*. 2009. Вип. 1–2. С. 3–8.

7. Гумусний стан та емісія діоксиду вуглецю в агроєкосистемах / В. В. Снітинський та ін. *Агроєкологічний журнал*. 2015. № 1. С. 53–58.

8. Землеробство ХХІ століття – проблеми та шляхи вирішення / В. Ф. Камінський та ін. Київ : ВП «Едельвейс», 2015. 272 с.

9. Павлюк Н. М., Гаськевич В. Г. Сірі лісові ґрунти Опілля. Львів, 2011. 310 с.

10. Позняк С. П., Гнатишин М. А. Глобальна ініціатива «4 PER 1000» та можливість її реалізації в Україні. *Український географічний журнал*. 2021. № 2 (114). С. 11–19. DOI: <https://doi.org/10.15407/ugz2021.02.011>.

11. 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>.

12. Скрильник Є. В., Гетманенко В. А., Кутова А. М. Розрахункові моделі балансу гумусу як показника агроєкологічної стабільності організації землекористування. *Наукові горизонти*. 2018. № 7–8 (70). С. 139–144.

13. Скрильник Є. В., Кутова А. М. Еволюція термінології у сфері органічної речовини ґрунту та гумусу. *Вісник аграрної науки*. 2023. № 4. С. 15–23. DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202304-02>.

14. Ткаченко М. А., Кондратюк І. М., Борис Н. Є. Хімічна меліорація кислих ґрунтів. Вінниця : ТОВ «ТВОРИ», 2019. 318 с.

15. Ткаченко М. А., Кондратюк І. М., Павліченко А. І. Відтворення родючості сірого лісового ґрунту за ведення інтенсивного й

*аграрної науки*. 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 agrarnoyi nauky*. 2021. No 12 (825). P. 18–27. DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202112-02>.

3. The influence of fertilization systems on the dynamics of unstable humic substances in short-rotation crop rotations / O. Y. Kachmar et al. *Visnyk LNAU : Ahronomiia*. 2019. No 23. P. 234–237. <https://doi.org/10.31734/agronomy2019.01.234>.

4. The influence of fertilization systems on organic matter and agrochemical indicators of typical chernozem / Ye. V. Skrylnyk et al. *Ahrokhimiia ta gruntoznavstvo*. 2019. Issue 88. P. 74–78. DOI: <https://doi.org/10.31073/acss88-10>.

5. Habryel A. Y., Olifir Yu. M., Petruniv I. I. Fractional composition of phosphates of light-gray forestal soil under different systems of its use. *Peredgirne ta girske zemlerobstvo i tvarynnyctvo*. 2006. Vol. 48, No I. P. 38–42.

6. Humus state of gray forestal soil depending on chemical reclamation and fertilization system / G. A. Mazur et al. *Zbirnyk naukovykh pracz NNCz “Instytut zemlerobstva UAAN”*. 2009. Vol. 1–2. P. 3–8.

7. Humus state and carbon dioxide emission in agroecosystems / V. V. Snitinskyi et al. *Agroekologichnyj zhurnal*. 2015. No 1. P. 53–58.

8. Agriculture of the 21st century – problems and solutions / V. F. Kaminskyi et al. Kyiv : VP «Edelweis», 2015. 272 с.

9. Pavliuk N. M., Haskevych V. G. Gray forestal soils of Opillia. Lviv, 2011. 310 p.

10. Pozniak S. P., Hnatyshyn M. A. Global initiative «4 PER 1000» and opportunities for its implementation in Ukraine. *Ukrayinskyj heohrafichnyj zhurnal*. 2021. No 2 (114). P. 11–19. DOI: <https://doi.org/10.15407/ugz2021.02.011>.

11. Productivity of short-rotation crop rotations on drained soils of the Polissia zone / A. O. Melnychuk et al. *Visnyk agrarnoyi nauky*. 2020. No 7. P. 67–73. DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202007-09>.

12. Skrylnyk Ye. V., Hetmanenko V. A., Kutova A. M. Calculation models of humus balance as an indicator of agroecological stability of land use organization. *Naukovi goryzonty*. 2018. No 7–8 (70). P. 139–144.

13. Skrylnyk Ye. V., Kutova A. M. Evolution of terminology in the field of soil organic matter and humus. *Visnyk agrarnoyi nauky*. 2023. № 4. С. 15–23. DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202304-02>.

14. Tkachenko M. A., Kondratyuk I. M., Borys N. E. Chemical reclamation of acidic soils. Vinnycia : TOV «TVORY», 2019. 318 p.

15. Tkachenko M. A., Kondratiuk I. M., Pavlichenko A. I. Reproduction of gray forestal soil fertility during intensive and organic farming. *Zemlerobstvo ta roslynnnyctvo: teoriya i praktyka*. 2021. Vol. 1. P. 13–19.

органічного землеробства. *Землеробство та рослинництво: теорія і практика*. 2021. Вип. 1. С. 13–19.

16. Ткачук В. П., Трофименко П. І. Вміст гумусу за різного використання дерново-підзолистого супіщаного ґрунту та обсяги емісійних втрат CO<sub>2</sub>. *Наукові доповіді НУБіП України*. 2020. № 2 (84). <http://dx.doi.org/10.31548/dopovidi2020.02.007>.

17. Трускавецький Р. С., Цапко Ю. Л. Основи управління родючістю ґрунтів. Харків : ФОР Бровін О. В., 2016. 388 с.

18. Управління органічним вуглецем ґрунту в контексті продовольчої безпеки й змін клімату / С. А. Балуєт та ін. *Вісник аграрної науки*. 2017. № 9. С. 11–18. DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk201709-02>.

19. Цапко Ю. Л. Десятник К. О., Огородня А. І. Збалансоване використання та меліорація кислих ґрунтів. Харків : ФОР Бровін О. В., 2018. 252 с.

20. Applied Aspects of Humus Balance Modelling in the Rivne Region of Ukraine / P. Skrypchuk et al. *Journal of Ecological Engineering*. 2020. Vol. 21 (6). P. 42–52. DOI: <https://doi.org/10.12911/22998993/123255>.

21. Chemical Fertilizers, Formulation, and Their Influence on Soil Health / S. Iqbal et al. In: Hakeem K. R., Dar G. H., Mehmood M. A., Bhat R. A. (eds) *Microbiota and Biofertilizers*. Springer, Cham. 2021. P. 1–15. doi.org/10.1007/978-3-030-48771-3\_1.

22. Dynamics of The Humus Content Under Different Chernozem Treatment Conditions / V. Bulgakov et al. *Journal of Ecological Engineering*. 2022. No 23 (6). P. 118–128. DOI: <https://doi.org/10.12911/22998993/147862>.

23. Environmental and agricultural relevance of humic fractions extracted by alkali from soils and natural waters / D. C. Olk et al. *Journal of Environmental Quality*. 2019. No 48. P. 217–232. DOI: <https://doi.org/10.2134/jeq2019.02.0041>.

24. Kleber M., Lehmann J. Humic substances extracted by alkali are invalid proxies for the dynamics and functions of organic matter in terres trial and aquatic ecosystems. *Journal of Environmental Quality*. 2019. No 48. P. 207–216. DOI: <https://doi.org/10.2134/jeq2019.01.0036>

25. Long-Term Fertilization Alters the Storage and Stability of Soil Organic Carbon in Chinese Paddy Soil / A. Mustafa et al. *Agronomy*. 2023. No 13 (6). P. 1463. <https://doi.org/10.3390/agronomy13061463>.

26. Modification of soil humic matter after 4 years of compost application / F. Adani et al. *Waste Management*. 2007. No 27 (2). P. 319–324. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2006.04.004>.

27. Paradelo R., Virto I., Chenu C. Net effect of liming on soil organic carbon stocks : A review. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 2015. V. 202. P. 98–107. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2015.01.005>.

28. Positive effects of crop rotation on soil aggregation and associated organic carbon are mainly controlled by climate and initial soil carbon content : A

16. Tkachuk V. P., Trofymenko P. I. Humus content for different uses of sod-podzolic sandy soil and volumes of emission CO<sub>2</sub> losses. *Naukovi dopovidi NUBiP Ukrainy*. 2020. No 2 (84). <http://dx.doi.org/10.31548/dopovidi2020.02.007>

17. Truskavetskyi R. S., Tsapko Yu. L. Fundamentals of soil fertility management. Kharkiv : FOP Brovin O. V., 2016. 388 p.

18. Management of soil organic carbon in the context of food security and climate change / S. A. Balyuk et al. *Visnyk agrarnoyi nauky*. 2017. No 9. P. 11–18. DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk201709-02>.

19. Tsapko Y. L. Desiatnyk K. O., Oгородня A. I. Balanced use and amelioration of acidic soils. Kharkiv : FOP Brovin O.V., 2018. 252 p.

20. Applied Aspects of Humus Balance Modelling in the Rivne Region of Ukraine / P. Skrypchuk et al. *Journal of Ecological Engineering*. 2020. Vol. 21 (6). P. 42–52. DOI: <https://doi.org/10.12911/22998993/123255>.

21. Chemical Fertilizers, Formulation, and Their Influence on Soil Health / S. Iqbal et al. In: Hakeem K. R., Dar G. H., Mehmood M. A., Bhat R. A. (eds) *Microbiota and Biofertilizers*. Springer, Cham. 2021. P. 1–15. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-48771-3\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-030-48771-3_1).

22. Dynamics of The Humus Content Under Different Chernozem Treatment Conditions / V. Bulgakov et al. *Journal of Ecological Engineering*. 2022. No 23 (6). P. 118–128. Doi: [10.12911/22998993/147862](https://doi.org/10.12911/22998993/147862).

23. Environmental and agricultural relevance of humic fractions extracted by alkali from soils and natural waters / D. C. Olk et al. *Journal of Environmental Quality*. 2019. № 48. P. 217–232. DOI: <https://doi.org/10.2134/jeq2019.02.0041>

24. Kleber M., Lehmann J. Humic substances extracted by alkali are invalid proxies for the dynamics and functions of organic matter in terres trial and aquatic ecosystems. *Journal of Environmental Quality*. 2019. № 48. P. 207–216. DOI: <https://doi.org/10.2134/jeq2019.01.0036>.

25. Long-Term Fertilization Alters the Storage and Stability of Soil Organic Carbon in Chinese Paddy Soil / A. Mustafa et al. *Agronomy*. 2023. No 13 (6). P. 1463. <https://doi.org/10.3390/agronomy13061463>

26. Modification of soil humic matter after 4 years of compost application / F. Adani et al. *Waste Management*. 2007. No 27 (2). P. 319–324. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2006.04.004>.

27. Paradelo R., Virto I., Chenu C. Net effect of liming on soil organic carbon stocks: A review. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 2015. V. 202. P. 98–107. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2015.01.005>.

28. Positive effects of crop rotation on soil aggregation and associated organic carbon are mainly controlled by climate and initial soil carbon content : A meta-analysis / F. Zheng et al. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 2023. V. 355. 108600, <https://doi.org/10.1016/j.agee.2023.108600>.

29. Qualitative composition of humus and physical and chemical properties of typical chernozem depending

meta-analysis / F. Zheng et al. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 2023. V. 355. 108600, <https://doi.org/10.1016/j.agee.2023.108600>

29. Qualitative composition of humus and physical and chemical properties of typical chernozem depending on the fertiliser system / M. Voitovyk et al. *Plant and Soil Science*. 2023. No 14 (1), P. 9–21. <https://doi.org/10.31548/plant1.2023.09>.

30. Soil organic carbon stock change following perennialization: a meta-analysis / I. A. Siddique et al. *Agronomy for Sustainable Development*. 2023. 43. 58. <https://doi.org/10.1007/s13593-023-00912-w>.

31. Soil organic matter as sole indicator of soil degradation / S. Obalum et al. *Environmental Monitoring and Assessment*. 2017. No 189. 176. <https://doi.org/10.1007/s10661-017-5881-y>.

32. Sugar beet rotation effects on soil organic matter and calculated humus balance in Central Germany / Ph. Gotzea et al. *European J. of Agronomy*. 2015. No 76. P. 198–207. Doi: 10.1016/j.eja.2015.12.004.

33. The Ecology of Soil Carbon: Pools, Vulnerabilities, and Biotic and Abiotic Controls / R. B. Jackson et al. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*. 2017. No 48. P. 419–445. [doi.org/10.1146/annurev-ecolsys-112414-054234](https://doi.org/10.1146/annurev-ecolsys-112414-054234).

34. Transformations of different soils under natural and anthropogenized land management / J. Volungevičius et al. *Zemdirbyste-Agriculture*. 2019. 106. P. 3–14. DOI: 10.13080/z-a.2019.106.001.

35. Wood S. A., Tirfessa D., Baudron F. Soil organic matter underlies crop nutritional quality and productivity in smallholder agriculture. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 2018. No 266. P. 100–108. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2018.07.025>.

on the fertiliser system / M. Voitovyk et al. *Plant and Soil Science*. 2023. No 14 (1). P. 9–21. <https://doi.org/10.31548/plant1.2023.09>.

30. Soil organic carbon stock change following perennialization: a meta-analysis / I. A. Siddique et al. *Agronomy for Sustainable Development*. 2023. 43. 58. <https://doi.org/10.1007/s13593-023-00912-w>.

31. Soil organic matter as sole indicator of soil degradation / S. Obalum et al. *Environmental Monitoring and Assessment*. 2017. No 189. 176. <https://doi.org/10.1007/s10661-017-5881-y>.

32. Sugar beet rotation effects on soil organic matter and calculated humus balance in Central Germany / Ph. Gotzea et al. *European J. of Agronomy*. 2015. No 76. P. 198–207. Doi: 10.1016/j.eja.2015.12.004.

33. The Ecology of Soil Carbon: Pools, Vulnerabilities, and Biotic and Abiotic Controls / R. B. Jackson et al. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*. 2017. No 48. P. 419–445. [doi.org/10.1146/annurev-ecolsys-112414-054234](https://doi.org/10.1146/annurev-ecolsys-112414-054234).

34. Transformations of different soils under natural and anthropogenized land management / J. Volungevičius et al. *Zemdirbyste-Agriculture*. 2019. 106. P. 3–14. DOI: 10.13080/z-a.2019.106.001.

35. Wood S. A., Tirfessa D., Baudron F. Soil organic matter underlies crop nutritional quality and productivity in smallholder agriculture. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 2018. No 266. P. 100–108. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2018.07.025>.