

УДК 631.45:631.8/821.1:633.34 <https://doi.org/10.31713/vs1202411>

Ященко Л. А., к.с.-г.н., доцент (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне, l.a.yashchenko@nuwm.edu.ua), Андрощук О. О., к.с.-г.н., пров. н.с., Гук Б. В., с.н.с. (Інститут сільського господарства Західного Полісся, с. Шубків, rivne_apv@ukr.net)

ЕКОНОМІКО-ЕНЕРГЕТИЧНА ОЦІНКА БАЛАНСУ ОРГАНІЧНОГО ВУГЛЕЦЮ У ДЕРНОВО-ПІДЗОЛИСТОМУ ҐРУНТІ ЗА УДОБРЕННЯ КУЛЬТУР СІВОЗМІНИ НА РІЗНИХ ФОНАХ ВАПНУВАННЯ

Питання балансу органічного вуглецю ґрунту в контексті адаптації до змін клімату та збереження джерела енергії екосистеми є одним із актуальних у аграрному виробництві Мета роботи: провести економічну та енергетичну оцінку балансу органічного вуглецю сформованого в удобрюваних варіантах досліду за різних видів і доз вапнування. Методи досліджень: польовий, розрахунковий, аналіз, узагальнення. За внесення різних доз і видів хімічних меліорантів на фоні рекомендованої дози удобрення із заорюванням побічної продукції культур сівозміни отримано позитивний баланс органічного вуглецю (Сорг), найвищий показник 0,37 т/га відзначено у варіанті 1,5 дози Нг СаMg(CO₃)₂ на фоні удобрення. У контролі за дефіцитного балансу – 0,20 т/га збитки від втрати вуглецю ґрунту становили 112,1 дол. США/га. Врахування зміни енергопотенціалу ґрунту (ΔЕпг) за рахунок формування позитивного балансу Сорг підвищило коефіцієнт енергетичної ефективності (К_е) на 3–6% порівняно з показниками отриманими традиційним розрахунком як відношення виробленої енергії урожаю до антропогенно витраченої енергії. Зниження К_е до 1,57 у контролі вказує на процес виснаження енергоресурсу дерново–підзолистого ґрунту. Таким чином, для збереження екологічної стабільності і високої продуктивності культур у сівозміні на дерново-підзолистому ґрунті в умовах Західного Полісся застосування 1,0 і 1,5 дози Нг СаMg(CO₃)₂ на фоні рекомендованої дози удобрення із заорюванням побічної продукції в ґрунт є ефективним заходом збільшення органічного вуглецю в

ґрунті, що забезпечує віддачу 153,4–218,3 дол. США/га та підвищує Кеє з урахуванням зміни енергопотенціалу ґрунту до 6,22–6,78 од.

Ключові слова: органічний вуглець; доломітове борошно; вапно; збитки; енерговитрати; енергопотенціал; ефективність.

Постановка проблеми. Важливе місце серед критеріїв оцінки стану ґрунтів належить балансу органічної речовини, який вважається однією із ключових величин і значною мірою визначає функціонування багатьох режимів ґрунту. Обсяги надходження у ґрунт та витрати органічної маси залежать від багатьох змінних у часі, часто взаємно протилежних за спрямуванням балансових складових, які або підсилюють процеси утворення органічної речовини в ґрунтах, або, навпаки, активізують процеси її деструкції та мінералізації [1; 2; 3].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У світі питання управління органічним вуглецем ґрунту перебуває в епіцентрі уваги. В Україні учені ННЦ «Інститут ґрунтознавства та агрохімії ім. О.Н. Соколовського» започаткували новий науковий напрям, який пов'язаний із розвитком низьковуглецевого землеробства, в контексті адаптації до змін клімату, здійснили еколого-економічну оцінку емісії CO₂ із ґрунтів за різних рівнів антропогенного навантаження. Саме результати таких досліджень можуть бути основою для оптимізації систем удобрення та органічної речовини ґрунту [4; 5; 6].

Враховуючи взаємодію динамічних процесів розкладання органічної речовини, дихання ґрунту та фотосинтезу основним завданням на даний час є закріплення органічного вуглецю в ґрунті [7].

Із застосуванням адаптивних технологій орні землі здатні до секвестрації значної частини втрат діоксиду карбону з ґрунту [8; 9]. Використання ґрунтів в умовах істотного зменшення інтенсивності їх обробітку забезпечує зниження витрат CO₂ під час мінералізації органічної речовини [10].

Позитивний гумусовий баланс є наслідком взаємодії багатьох різносторонніх чинників: науково обґрунтованої сівозміни, достатнього рівня удобрення, зваженої хімічної меліорації, нагромадження в ґрунтах органічної речовини у вигляді рослинних решток та мінімізація його обробітку. Недостатньо вивченим

залишається питання значення темпів мінералізації для оптимізації балансу вуглецю в агроценозах для підвищення їхньої продуктивності [11; 12].

Баланс органічної речовини є одним із індикаторів сталості й відображає рівень якості ґрунту, який частково є результатом людської діяльності, що може бути усвідомленою, або може бути наслідком недостатнього знання [13; 14].

Актуальність проблеми управління ґрунтовим органічним вуглецем в умовах Західного Полісся зумовлене тим, що він має вирішальне значення для родючості ґрунту, адаптації до змін клімату та виробництва сільськогосподарської продукції.

Мета досліджень – встановити особливості емісії діоксиду карбону з дерново-підзолистого ґрунту та формування балансу органічного вуглецю за вирощування сільськогосподарських культур у сівозміні за різних доз і видів хімічних меліорантів та удобрення.

Методика досліджень. Стаціонарний дослід закладений на дерново-підзолистому ґрунті, чергування культур – пшениця озима, кукурудза на зерно, ячмінь ярий, ріпак озимий. Посівна площа ділянки 99 м², облікова – 50 м², повторність дослідів триразова. Розміщення варіантів послідовне. Технологія вирощування культур загальноприйнята для зони Полісся. Схема дослідів: 1. Без добрив – контроль; 2. NPK – фон; 3. Фон + CaMg(CO₃)₂ (0,5 Нг); 4. Фон + CaMg(CO₃)₂ (1,0 Нг); 5. Фон + CaMg(CO₃)₂ (1,5 Нг); 6. Фон + CaCO₃ (1,0 Нг). Мінеральні добрива вносили згідно схеми дослідів: під пшеницю озиму – N₁₂₀P₆₀K₉₀, кукурудзу на зерно – N₁₂₀P₉₀K₁₂₀, ячмінь ярий – N₉₀P₉₀K₉₀, ріпак озимий – N₁₂₀P₉₀K₁₂₀. Насиченість мінеральними добривами у середньому по сівозміні становила N₁₁₂P₈₂K₁₀₅. Хімічні меліоранти вносили перед закладанням стаціонарного дослідів згідно зі схемою дослідів у формі доломітового (CaMg(CO₃)₂) і вапнякового (CaCO₃) борошна. Дозу визначали за показником гідролітичної кислотності (Нг) ґрунту у варіантах.

При розрахунку балансу органічного вуглецю використано методику розроблену ННЦ «Інститут ґрунтознавства та агрохімії ім. О. Н. Соколовського [15]. У прибутковій статті враховується поповнення вуглецю з побічною продукцією і рослинними рештками (пожнивно-кореневими) з урахуванням коефіцієнту їх гуміфікації для дерново-підзолистого ґрунту, стаття витрат визначається розмірами мінералізації гумусу у перерахунку на органічний вуглець.

Розрахунок енергетичної ефективності технології вирощування культур проводили за методиками [16; 17].

Розрахунок зміни енергопотенціалу ґрунту ($\Delta E_{\text{ПГ}}$) проводили на основі отриманих даних балансу (табл. 1) за формулою (Орлов Д. С., Гришина Л. О., 1981) (1):

$$\Delta E_{\text{ПГ}}, \text{ ГДж/га} = 891,7 \times C_{\%} \times h \times d_v = \frac{891,7 \times C_{\text{орг}}}{100} \times 4,18, \quad (1)$$

де $C_{\%}$ – уміст загального вуглецю у ґрунті; %; h – глибина шару, м; d_v – щільність ґрунту, г/см³; 891,7 – коефіцієнт переводу в млн ккал/га; $C_{\text{орг}}$ – показник балансу органічного вуглецю, т/га; 100 – коефіцієнт переводу в см; 4,18 – коефіцієнт переводу калорій у Джоулі.

$K_{\text{е}}$ без урахування зміни енергопотенціалу ґрунту ($\Delta E_{\text{ПГ}}$) визначали за формулою (2):

$$K_{\text{е}} \text{ без } \Delta E_{\text{ПГ}} = \frac{(E_o + E_{\text{п}})}{E_a}, \quad (2)$$

де E_o – енерговміст урожаю основної продукції, ГДж/га; $E_{\text{п}}$ – енерговміст побічної продукції, ГДж/га; E_a – витрати антропогенної енергії, ГДж/га.

Проте, як зазначає в своїй роботі Шудренко І. В. [16] дана методика не враховує вплив технологій на стан агроєкосистеми, оскільки до уваги не береться зміна її енергопотенціалу, у т.ч. ґрунту. Тому $K_{\text{е}}$ з урахуванням зміни енергопотенціалу ґрунту ($\Delta E_{\text{ПГ}}$) визначали за запропонованою ним формулою (3):

$$K_{\text{е}} \text{ з } \Delta E_{\text{ПГ}} = \frac{(E_o + E_{\text{п}}) + \Delta E_{\text{ПГ}}}{E_a}. \quad (3)$$

Результати досліджень та обговорення. Утримання вуглецевих сполук у родючому шарі ґрунту має важливе значення для підвищення врожайності сільськогосподарських культур [14]. Встановлено, що головним резервом для стабілізації гумусного стану ґрунту є надходження побічної продукції і корневих решток. Заорювання у зоні Західного Полісся 100%-ї нетоварної рослинної маси за внесення різних доз доломітового борошна 0,5, 1,0, 1,5 дози Нг і вапнякового борошна 1,0 Нг на фоні насичення рекомендованою дозою у сівозміні $N_{112}P_{82}K_{105}$ забезпечує перевагу надходження

органічної речовини над її втратами та оптимізацію параметрів вмісту органічного вуглецю в ґрунті.

За результатами досліджень у короткоротаційній сівозміні на дерново-підзолистому ґрунті у варіанті без добрив і хімічної меліорації та без зорювання побічної продукції було відзначено дефіцит органічного вуглецю, який був від'ємним $-0,20$ т/га, що призводить до виснаження родючості ґрунту. За внесення рекомендованої дози добрив під культури сівозміні та із заорюванням їх побічної продукції в ґрунт без вапнування спостерігається тенденція до поліпшення показника балансу органічного вуглецю до $0,04$ т/га, який сформувався в основному за рахунок пожнивно-коренових решток (табл. 1). Застосування хімічної меліорації доломітовим борошном $0,5$, $1,0$, $1,5$ дози Нг із заорюванням побічної продукції було сформовано бездефіцитний баланс органічного вуглецю, який зріс на $0,11$ – $0,33$ т/га і був найвищим за хімічної меліорації доломітовим борошном $1,5$ дози Нг – $0,37$ т/га.

Таблиця 1

Баланс органічного вуглецю у дерново-підзолистому ґрунті залежно від хімічної меліорації і удобрення, середнє за 2012–2019 рр., т/га

Варіант	Накопичення			Втрати (мінералізація)	Баланс (Сорг) ±
	всього	у т.ч. за рахунок			
		рослинних решток	соломи		
Без добрив - контроль	0,58	0,29	0,29	0,78	-0,20
N ₁₁₂ P ₈₂ K ₁₀₅ - фон	0,82	0,37	0,45	0,78	0,04
Фон + CaMg(CO ₃) ₂ (0,5 Нг)	0,93	0,44	0,49	0,78	0,15
Фон + CaMg(CO ₃) ₂ (1,0 Нг)	1,04	0,48	0,56	0,78	0,26
Фон + CaMg(CO ₃) ₂ (1,5 Нг)	1,15	0,53	0,62	0,78	0,37
Фон + CaCO ₃ (1,0 Нг)	1,00	0,46	0,54	0,78	0,22

Науково-методичним підґрунтям проведеного дослідження є фундаментальна грошова оцінка втрат вуглецю із дерново-підзолистого ґрунту в умовах Західного Полісся за різних доз і видів хімічної меліорації на фоні рекомендованої дози удобрення культур.

Розрахунки показали, що за впливом на потенційну родючість у варіанті без застосування добрив і хімічної меліорації (контроль) формувалася збиток від втрати вуглецю в розмірі – 112,1 дол. США/га (рисунок).

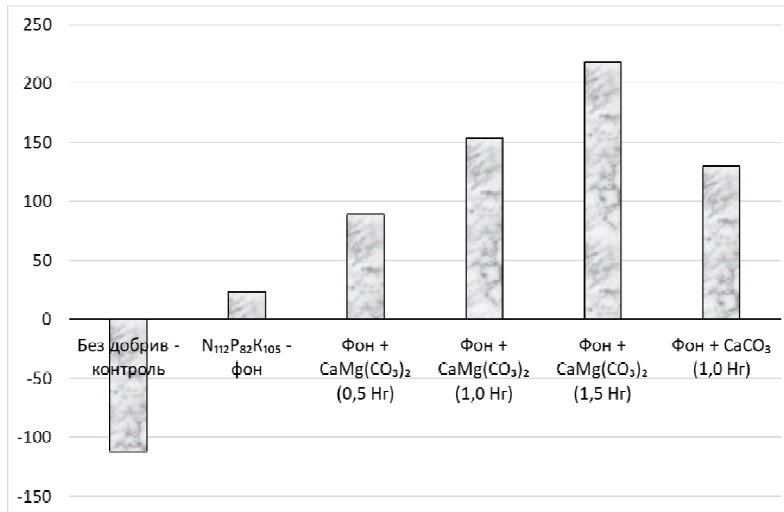


Рисунок. Економічна оцінка балансу вуглецю в дерново-підзолистом ґрунті залежно від впливу хімічної меліорації і удобрення на потенційну родючість ґрунту, дол. США/т

Застосування рекомендованої дози удобрення (фон) із заорюванням побічної продукції спричинило формування ефекту балансу вуглецю в розмірі 23,6 дол. США/га. Внесення різних доз доломітового борошна із заорюванням побічної продукції на фоні удобрення мало еколого-економічний ефект і найбільшу віддачу 218,3 дол. США/га одержано за внесення 1,5 дози CaMg(CO₃)₂ на фоні N₁₁₂P₈₂K₁₀₅.

Енергетичний аналіз агроєкосистем дає можливість визначити енерговитратні ланцюги в системі землеробства і визначити напрямки підвищення їх енергетичної ефективності та зниження енергоємності одиниці рослинницької продукції [17; 18].

Енергетична цінність органічної речовини ґрунту відіграє роль лише в метаболічних процесах, що відбуваються в ґрунтах і не слугує безпосередньо економічним цілям із точки зору виробництва енергії. Проте, в органічній речовині енергія зберігається в стабільній формі, яка піддається безперервному розкладанню, що призводить до

вивільнення поживних речовин, доступних для рослин. Отже, із точки зору сталого сільськогосподарського виробництва, підтримання постійного надходження органічної речовини в ґрунт і накопичення органічного вуглецю (енергії) можна розглядати як інвестицію в ґрунтовий капітал [19].

Аналіз енергетичних показників вирощування сільськогосподарських культур в короткоротаційній сівозміні на дерново-підзолистому ґрунті проведений із урахуванням енерговитрат на відновлення родючості ґрунту за рахунок хімічної меліорації, удобрення і заорювання побічної продукції. Порівняно з контролем застосування різних доз $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ і 1,0 дози Нг CaCO_3 за насиченості добривами $\text{N}_{112}\text{P}_{82}\text{K}_{105}$ (фон) призвело до збільшення енерговитрат у 1,7–1,8 разів (табл. 2).

Таблиця 2
Енергетична ефективність вирощування культур за удобрення і хімічної меліорації дерново-підзолистого ґрунту, середнє за 2012–2019 рр.

Варіант	Витрати антропогенної енергії, ГДж/га (Ea)	Енерговміст урожаю, ГДж/га		Зміна енергопотенціалу ґрунту за рахунок енергії органічної речовини, ГДж/га ($\Delta\text{Eпг}$)	Коефіцієнт енергетичної ефективності	
		основної продукції (Eo)	побічної продукції (Eп)		Кее без урахування ($\Delta\text{Eпг}$)	Кее з урахуванням ($\Delta\text{Eпг}$)
Без добрив - контроль	19,7	38,5		-7,45	1,95	1,57
$\text{N}_{112}\text{P}_{82}\text{K}_{105}$ - фон	32,2	58,9	96,1	1,49	4,81	4,86
Фон + $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ (0,5 Нг)	33,8	74,3	105,2	5,59	5,31	5,47
Фон + $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ (1,0 Нг)	34,7	85,4	120,8	9,69	5,94	6,22
Фон + $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ (1,5 Нг)	36	97,1	133,0	13,8	6,39	6,78
Фон + CaCO_3 (1,0 Нг)	35	81,1	115,6	8,20	5,62	5,85

Найбільш енерговитратним 36 ГДж/га виявилось внесення 1,5 Нг дози $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ на фоні рекомендованої дози удобрення, що пов'язано з вищою дозою внесення доломітового борошна і заорюваною побічною продукцією. Однак, вирощування культур у сівозміні за різних доз і видів хімічної меліорації на фоні удобрення і побічної продукції забезпечило найбільший приріст енергії врожаю, вихід якої становив 178,9–229,4 ГДж/га, що у 4,5–6,0 разів більше ніж у варіанті без добрив та на 15,9–48,6% ніж у варіанті фон ($\text{N}_{112}\text{P}_{82}\text{K}_{105}$). За внесення 1,0 і 1,5 дози Нг $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ на фоні рекомендованої дози добрив і побічної продукції енергоємність врожаю була найвищою і склала 205,5 ГДж/га і 229,4 ГДж/га.

Оцінюючи ефект від поєднання досліджуваних доз і виду хімічної меліорації на фоні рекомендованої дози удобрення слід відмітити, що показники енергетичної ефективності у середньому за роки досліджень найвищими були за внесення 1,0 і 1,5 дози Нг $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ на фоні $\text{N}_{112}\text{P}_{82}\text{K}_{105}$ ($K_{\text{еє}}$ 5,94 і 6,39 од.) відповідно. Ступінь ефективності використання енергії за внесення 0,5 дози $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ і 1,0 дози CaCO_3 на фоні удобрення поступався іншим варіантам застосування хімічних меліорантів.

Проте, крім урахування накопиченої енергії урожаю доцільно враховувати приріст енергії ґрунту за рахунок відтворення вмісту його органічної речовини. При переважанні процесу гуміфікації і формуванні позитивного балансу органічного вуглецю (див. табл. 1) відбувається підвищення енергопотенціалу ґрунту і, навпаки, за переважання мінералізації у контролі його зниження (див. табл. 2). Враховуючи, отриманий шляхом розрахунків показник балансу органічного вуглецю, основним джерелом якого були рослинні рештки з урахуванням коефіцієнту їх гуміфікації, та вміст енергії у органічній речовині, зміна енергопотенціалу ґрунту удобрюваних варіантів становила 1,49–13,8 ГДж. Отримані величини узгоджуються з даними Смаглія О. Ф. та ін. [20], які зазначають, що за рахунок рослинних решток щорічна акумуляція енергії в гумусі ґрунту становить 6,7–44,1 ГДж/га. Таким чином, накопичення енергії в урожаї та енергопотенціалу ґрунту збільшує частку якісної виробленої енергії. Відповідно з урахуванням ($\Delta E_{\text{пг}}$) $K_{\text{еє}}$ зростає залежно від удобрюваного варіанту на 3–6%, що підтверджує позитивну роль заробляння побічної продукції у ґрунт. В той же час

на контролі без використання побічної продукції K_{ee} знизився на 19,4%, що вказує на виснаження енергоресурсу екосистеми.

Висновки. Для збереження родючості дерново-підзолистого ґрунту, зниження деградації ґрунту, підвищення продуктивності культур у сівозміні в умовах Західного Полісся ефективним заходом є застосування 1,0 і 1,5 дози $Hg\ CaMg(CO_3)_2$ на фоні рекомендованої дози удобрення із заорюванням побічної продукції, що забезпечило формування бездефіцитний баланс органічного вуглецю 0,26–0,37 т/га і економічну віддачу від його збереження на рівні 153,4–218,3 дол. США/га за високої енергетичної ефективності K_{ee} 5,92 і 6,37 од. відповідно.

1. Морозова Т. В., Ліхо О. А. Емісія CO_2 з ґрунтів під енергетичними культурами. *Вісник Національного університету водного господарства та природокористування. Сільськогосподарські науки*. 2022. Вип. 2(98). С. 89–103. URL: <http://ep3.nuwm.edu.ua/id/eprint/24127>. (дата звернення: 10.02.2024).
2. Снітинський В. В., Габриель А. Й., Оліфір Ю. М., Германович О. М. Гумусний стан та емісія діоксиду вуглецю в агроекосистемах. *Агроекологічний журнал*. 2015. № 1. С. 53–58. URL: <http://journalagroeco.org.ua/issue/view/16290>. (дата звернення: 10.02.2024).
3. Демиденко О. В., Величко В. А. Управління обігом вуглецю в агроценозах під впливом низьковуглецевих агротехнологій. *Вісник аграрної науки*. 2014. № 14. С. 46–52. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/vaan_2014_11_10. (дата звернення: 10.02.2024).
4. Кучер А. Еколого-економічна оцінка емісії CO_2 з ґрунтів за різних рівнів антропогенного навантаження. *Agricultural and resource economics : international scientific e-journal*. 2016. Vol. 2, № 1. С. 45–64. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/areis_2016_2_1_6. (дата звернення: 10.02.2024).
5. Пліско І. В. Вартість запасів рухомого гумусу як складова грошової оцінки земель. *Агрохімія і ґрунтознавство*. 2012. Вип. 78. С. 45–53.
6. Попірний М. А., Сябрук О. П., Акімова Р. В., Шевченко М. В. Новітні інтегративні методи дослідження стабілізації органічного вуглецю за різного обробітку ґрунту. *Агрохімія і ґрунтознавство*. 2020. № 90. С. 13–28. URL: <https://doi.org/10.31073/acss90-02>. (дата звернення: 10.02.2024).
7. Рижук С. М., Кочик Г. М., Мельничук А. О., Кучер Г. А., Савчук О. І. Обґрунтування підходів і стратегічних напрямів щодо секвестрації й збільшення органічного вуглецю в ґрунтах зони Полісся. *Вісник аграрної науки*. 2022. № 5 (830). С. 20–32. doi: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202205-04>.
8. Скрильник Є. В., Гетманенко В. А., Кутова А. М., Москаленко В. П. Потенційні ресурси та підходи до управління органічною сировиною України для поповнення запасів гумусу в ґрунтах. *Вісник аграрної науки Причорномор'я*. 2021. Вип.

2. С. 45–54. doi: 10.31521/2313-092X/2021-2(110)-6. 9. Бовсуновський А. М., Савчук О. І., Нагулевич Л. І., Мельничук А. О. Рациональне використання ґрунтового покриву Житомирського Полісся на засадах адаптивно-ландшафтного землекористування. *Вісник Харківського НАУ*. 2008. № 4. С. 132–137. 10. Chen X., Liu M., Xu Z. et al. Influences of temperature and moisture on abiotic and biotic soil CO₂ emission from a subtropical forest. *Carbon Balance Manage.* 2021. Vol. 16 (18). URL: <https://doi.org/10.1186/s13021-021-00181-8>. (дата звернення: 10.02.2024). 11. Надточій П. П., Мислива Т. М., Вольвач Ф. В. Екологія ґрунту : монографія. Житомир : Рута, 2010. 473 с. URL: <http://ir.znau.edu.ua/handle/123456789/3772>. (дата звернення: 10.02.2024). 12. Зубець М. В., Балюк С. А., Греков В. О. Сучасний стан ґрунтового покриву України і невідкладні заходи з його охорони. *Агрехімія і ґрунтознавство*. 2010. № 1. С. 7–17. 13. Сайко В. Ф. Землеробство в контексті змін клімату. *Збірник наукових праць Національного наукового центру «Інститут землеробства НААН»*. 2008. Спец. вип. 3. С. 3–14. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/znpzeml_2008_Spets.vip_3. (дата звернення: 10.02.2024). 14. Wrzaszcz W. Changes in Farms' Environmental Sustainability in Poland—Progress or Regress? *AgBioForum*. 2018. Vol. 21. Is. 2. Pp. 107–126. URL: <https://agbioforum.org/wp-content/uploads/2021/02/AgBioForum-21-2-107.pdf> (дата звернення: 10.02.2024). 15. Балюк С. А., Греков В. О., Лісовий М. В. Розрахунок балансу гумусу і поживних речовин у землеробстві України на різних рівнях управління. Харків : КП «Міська друкарня», 2011. 30 с. 16. Шудренко І. В. Еколого-енергетичне оцінювання сівозміни Полісся. *Екологія: вчені у вирішенні проблем науки, освіти і практики* : зб. доп. учасн. Міжнар. наук.-практ. конф., 24–25 трав. 2007 р. Житомир : ДАУ, 2007. С. 137–140. URL: <http://ir.polissiauniver.edu.ua/handle/123456789/3782>. (дата звернення: 10.02.2024). 17. Зінченко О. І., Коротєєв А. В., Каленська С. М. Рослинництво: практикум / за ред. О. І. Зінченка. Вінниця : Нова книга, 2008. 536 с. 18. Тараріко Ю. О., Городній М. М., Сердюк А. Г., Каленський В. П. Біоенергетична оцінка системи удобрення і агротехнологій. К. : НАУ, 2005. 40 с. 19. Kuczuk A. Energy value of soil organic matter and costs of its restoration. *E3S Web of Conferences*. 2017. Vol. 19. 02035. DOI: 10.1051/e3sconf/20171902035 EEMS 2017. 20. Агроекологія : навч. посіб. / О. Ф. Смаглій, А. Т. Кардашов, П. В. Литвак та ін. К. : Вища освіта, 2006. 671 с.

REFERENCES:

1. Morozova T. V., Likho O. A. Emisiia SO₂ z gruntiv pid enerhetychnymy kulturamy. *Visnyk Natsionalnoho universytetu vodnoho hospodarstva ta pryrodokorystuvannia. Silskohospodarski nauky*. 2022. Vyp. 2(98). S. 89–103. URL: <http://ep3.nuwm.edu.ua/id/eprint/24127>. (data zvernennia: 10.02.2024).

2. Snitynskyi V. V., Habryiel A. Y., Olifir Yu. M., Hermanovych O. M. Humusnyi stan ta emisiia dioksydu vuhletsiu v ahroekosystemakh. *Ahroekolohichniy zhurnal*. 2015. № 1. S. 53–58. URL: <http://journalagroeco.org.ua/issue/view/16290>. (data zvernennia: 10.02.2024).
3. Demydenko O. V., Velychko V. A. Upravlinnia obihom vuhletsiu v ahrotsenozakh pid vplyvom nyzkovuhletsevykh ahrotekhnolohii. *Visnyk ahrarnoi nauky*. 2014. № 14. S. 46–52. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/vaan_2014_11_10. (data zvernennia: 10.02.2024).
4. Kucher A. Ekoloho-ekonomichna otsinka emisii SO₂ z gruntiv za riznykh rivniv antropohennoho navantazhennia. *Agricultural and resource economics : international scientific e-journal*. 2016. Vol. 2, № 1. S. 45–64. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/areis_2016_2_1_6. (data zvernennia: 10.02.2024).
5. Plisko I. V. Vartist zapasiv rukhomoho humusu yak skladova hroshovoi otsinky zemel. *Ahrokhimiia i gruntoznavstvo*. 2012. Vyp. 78. S. 45–53.
6. Popirnyi M. A., Siabruk O. P., Akimova R. V., Shevchenko M. V. Novitni intehratyvni metody doslidzhennia stabilizatsii orhanichnoho vuhletsiu za riznoho obrobittu gruntu. *Ahrokhimiia i gruntoznavstvo*. 2020. № 90. S. 13–28. URL: <https://doi.org/10.31073/acss90-02>. (data zvernennia: 10.02.2024).
7. Ryzhuk S. M., Kochyk H. M., Melnychuk A. O., Kucher H. A., Savchuk O. I. Obgruntuvannia pidkhodiv i stratehichnykh napriamiv shchodo sekvestratsii y zbilshennia orhanichnoho vuhletsiu v gruntakh zony Polissia. *Visnyk ahrarnoi nauky*. 2022. № 5 (830) S. 20–32. doi: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202205-04>.
8. Skrylnyk Ye. V., Hetmanenko V. A., Kutova A. M., Moskalenko V. P. Potentsiini resursy ta pidkhody do upravlinnia orhanichnoiu syrovynoiu Ukrainy dlia popovnennia zapasiv humusu v gruntakh. *Visnyk ahrarnoi nauky Prychornomoria*. 2021. Vyp. 2. C. 45–54. doi: 10.31521/2313-092X/2021-2(110)-6.
9. Bovsunovskyi A. M., Savchuk O. I., Nahulevych L. I., Melnychuk A. O. Ratsionalne vykorystannia gruntovoho pokryvu Zhytomyrskoho Polissia na zasadakh adaptyvno-landshaftnoho zemlekorystuvannia. *Visnyk Kharkivskoho NAU*. 2008. № 4. S. 132–137.
10. Chen X., Liu M., Xu Z. et al. Influences of temperature and moisture on abiotic and biotic soil CO₂ emission from a subtropical forest. *Carbon Balance Manage*. 2021. Vol. 16 (18). URL: <https://doi.org/10.1186/s13021-021-00181-8>. (data zvernennia: 10.02.2024).
11. Nadtochii P. P., Myslyva T. M., Volvach F. V. Ekolohiia gruntu : monohrafiia. Zhytomyr : Ruta, 2010. 473 s. URL: <http://ir.znau.edu.ua/handle/123456789/3772>. (data zvernennia: 10.02.2024).
12. Zubets M. V., Baliuk S. A., Hrekov V. O. Suchasnyi stan gruntovoho pokryvu Ukrainy i nevidkladni zakhody z yoho okhorony. *Ahrokhimiia i gruntoznavstvo*. 2010. № 1. S. 7–17.
13. Saiko V. F. Zemlerobstvo v konteksti zmin klimatu. *Zbirnyk naukovykh prats Natsionalnoho naukovooho tsentru «Instytut zemlerobstva NAAN»*. 2008. Spets. vyp. 3. S. 3–14. URL:

http://nbuv.gov.ua/UJRN/znzpzeml_2008_Spets.vip._3. (data zvernennia: 10.02.2024). **14.** Wrzaszcz W. Changes in Farms' Environmental Sustainability in Poland—Progress or Regress? *AgBioForum*. 2018. Vol. 21. Is. 2. Pp. 107–126. URL: <https://agbioforum.org/wp-content/uploads/2021/02/AgBioForum-21-2-107.pdf> (data zvernennia: 10.02.2024). **15.** Baliuk S. A., Hrekov V. O., Lisovyi M. V. Rozrakhunok balansu humusu i pozhyvnykh rehovyn u zemlerobstvi Ukrainy na riznykh rivniakh upravlinnia. Kharkiv : KP «Miska drukarnia», 2011. 30 s. **16.** Shudrenko I. V. Ekoloho-enerhetychne otsiniuvannia sivozminy Polissia. *Ekolohiia: vcheni u vyrishenni problem nauky, osvity i praktyky* : zb. dop. uchasn. Mizhnar. nauk.-prakt. konf., 24–25 trav. 2007 r. Zhytomyr : DAU, 2007. S. 137–140. URL: <http://ir.polissiauniver.edu.ua/handle/123456789/3782>. (data zvernennia: 10.02.2024). **17.** Zinchenko O. I., Korotiev A. V., Kalenska S. M. Roslynytstvo: praktykum / za red. O. I. Zinchenka. Vinnytsia : Nova knyha, 2008. 536 s. **18.** Tarariko Yu. O., Horodnii M. M., Serdiuk A. H., Kalenskyi V. P. Bioenerhetychna otsinka systemy udobrennia i ahrotekhnolohii. K. : NAU, 2005. 40 s. **19.** Kuczuk A. Energy value of soil organic matter and costs of its restoration. *E3S Web of Conferences*. 2017. Vol. 19. 02035. DOI: 10.1051/e3sconf/20171902035 EEMS 2017. **20.** Ahroekolohiia : navch. posib. / O. F. Smahlii, A. T. Kardashov, P. V. Lytvak ta in. K. : Vyshcha osvita, 2006. 671 s.

Yashchenko L. A., Candidate of Agricultural Sciences (Ph.D.), Associate Professor (National University of Water and Environmental Engineering, Rivne), **Androshchuk O. O., Candidate of Agricultural Sciences (Ph.D.), Leading Researcher**, **Huk B. V., Senior Research Fellow** (Institute of Agriculture of Western Polissia of NAAS, vil. Shubkiv)

ECONOMIC AND ENERGY ASSESSMENT OF SOC BALANCE IN SOD-PODZOLIC SOIL UNDER FERTILIZATION AND DIFFERENT RATES OF LIMING IN CROP ROTATION

The soil organic carbon balance (SOC) in the context of climate change adaptation and ecosystem energy source preservation is one of the topical issues in agrarian production. The aim is to conduct an economic and energy evaluation of the organic carbon balance formed in fertilized variants with different types and doses of liming. Research methods include field research, calculation, analysis, and generalization. In variants with different doses and types of chemical ameliorants alongside the recommended fertilizer dose and with

incorporation into the soil of crop residues, a positive organic carbon balance (Corg) was obtained. The highest indicator, 0.37 t/ha, was observed in the variant with the application of 1.5 Hh doses of $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2 + \text{N112P82K105}$. In the control, with a deficit balance of Corg at the level of -0.20 t/ha, the losses of carbon from the soil were equivalent to 112.1 USD/ha. Taking into account the change in soil energy potential (ΔEpg) due to the formation of a positive Corg balance increased the energy efficiency coefficient (Kee) by 3–6% compared to the indicators obtained by traditional calculation as the ratio of the energy produced by the crop to the anthropogenically spent energy. A decrease in Kee to 1.57 in the control indicates the depletion of the energy resource of sod-podzolic soil. Thus, for the preservation of ecological stability and high crop productivity in crop rotation on sod-podzolic soil in the conditions of the Western Polissya, the application of 1.0 and 1.5 doses of Hh $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ with the recommended dose of mineral fertilizers and with the incorporation of crop residues into the soil is an effective measure to increase organic carbon in the soil. This provides a return of 153.4–218.3 USD/ha due to the preservation of Corg and increases Kee due to account for the change in soil energy potential to 6.22–6.78 units.

Keywords: soil organic carbon (SOC); dolomite lime; calcium lime; economic losses; energy consumption; energy potential; efficiency.