

БІОЛОГІЧНИЙ ЦИКЛ CO₂ І БАЛАНС ОРГАНІЧНОГО ВУГЛЕЦЮ В АГРОЦЕНОЗІ КУКУРУДЗА (*Zea mays*) – СОЯ (*Glycine Hispida maxim*) НА ДЕРНОВО-ПІДЗОЛИСТОМУ ҐРУНТІ

В. М. Польовий, Л. А. Яценко, Г. Ф. Ровна, Б. В. Гук

Інститут сільського господарства Західного Полісся НААН, вул. Рівненська, 5, с. Шубків, Рівненська обл., 35325, Україна

Актуальність досліджень пов'язана з необхідністю пошуку шляхів накопичення органічного вуглецю та відтворення родючості ґрунту, підвищення продуктивності культур на дерново-підзолистому ґрунті Західного Полісся. **Мета.** Дослідити цикл діоксиду вуглецю у ланці кукурудза – соя за різних доз удобрення на фоні хімічної меліорації та заорювання побічної продукції, встановити інтенсивність емісії CO₂ і баланс органічного вуглецю дерново-підзолистому ґрунту. **Матеріали і методи.** Стаціонарний польовий дослід, порівняльно-розрахунковий – для визначення акумульованого рослинами і емітованого CO₂, аналітичний та розрахунковий методи – для визначення балансу органічного вуглецю. **Результати.** Встановлено, що у разі внесення рекомендованої і розрахованої за нормативним методом дози добрив на фоні доломітового і вапнякового борошна емісія CO₂ від мінералізації органічної речовини становила 5,01–5,45 т/га, що вище за контроль (без добрив) на 23,4–34,2 %. Емісія CO₂ в атмосферу від мінералізації рослинної маси залежно від удобрення і хімічної меліорації знаходилась в межах 18,6–24,7 т/га і перевищувала в 1,2–2,0 рази контроль (без добрив) і фон CaMg(CO₃)₂ 1,0 Н₂, що пов'язано з покращеним режимом ґрунту, більшою масою побічної продукції і нагромадженням CO₂ рослинами. Найвища кількість CO₂ акумульована кукурудзою 64,8–65,0 т/га і соєю – 15,0–15,8 т/га за розрахункової дози добрив за нормативним методом сумісно з мікродобривами на фоні доломітового борошна. Застосування розрахункових доз добрив на фоні CaMg(CO₃)₂ 1,0 Н₂ під сільськогосподарські культури забезпечило перевагу утворення органічного вуглецю в ґрунті, що й формувало додатний баланс 0,12 і 0,15 т/га. У варіанті без добрив і хімічної меліорації на 1 т виходу зернових одиниць у ланці кукурудза-соя відношення загальної емісії CO₂ в атмосферу становило 4,65 і 4,62 од., тоді як за внесення розрахункової дози добрив за нормативним методом на фоні 1,0 Н₂ CaMg(CO₃)₂ відповідно знизилось до 3,78 і 3,89 од. **Висновки.** Заорювання рослинної маси в ґрунт за підвищення продуктивності кукурудзи і сої на дерново-підзолистому зв'язнопіщаному ґрунті із застосуванням розрахункових доз добрив нормативним методом на фоні 1,0 Н₂ CaMg(CO₃)₂ є ефективним заходом у боротьбі з деградацією ґрунту, оскільки забезпечує включення у колообіг додаткової кількості органічного вуглецю, який спрямований на його закріплення за рахунок формування бездефіцитного балансу 0,12 і 0,15 т/га.

Ключові слова: емісія, органічний вуглець, продуктивність, удобрення, меліорація, рослинна маса

Вступ. В умовах глобальних і регіональних змін клімату важливим джерелом парникових газів, є ґрунт, з якого вони надходять в атмосферу, і який є потужним резервом накопичення і зберігання органічного

вуглецю у формі гумусових речовин [1–3]. Дихання ґрунту є причиною втрати вуглецю, який сконцентрований переважно в органічній речовині. Втрата карбону через нераціональне використання орних ґрунтів перетво-

Інформація про авторів:

Польовий Володимир Мефодійович, доктор с.-г. наук, професор, академік НААН України, головний науковий співробітник відд. землеробства та агрохімії, e-mail: rivne_apv@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0002-3133-9803>

Яценко Людмила Анатоліївна, канд. с.-г. наук, доцент, провідний науковий співробітник відд. землеробства та агрохімії, e-mail: yashchenko.liudmyla@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-1407-0133>

Ровна Галина Францівна, старший науковий співробітник відд. землеробства та агрохімії, e-mail: rivne_apv@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0002-7599-5650>

Гук Богдан Васильович, старший науковий співробітник відд. землеробства та агрохімії, e-mail: rivne_apv@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0002-8666-2667>

рює агроєкосистеми на потужне джерело парникового газу – діоксиду карбону [4].

Перехід природних екосистем у сільськогосподарське використання призвів до зниження рівнів ґрунтового органічного карбону, щороку вивільняючи в атмосферу з ґрунту від 50 до 100 Гт вуглецю, а тому незначні порушення ґрунтового дихання в глобальному масштабі можуть призвести до серйозних змін концентрації CO₂ в атмосфері [5]. Порушення ґрунтового дихання призводить до зміни вмісту CO₂ у приземних шарах атмосфери. Діоксид вуглецю атмосфери приблизно на 80–90 % має ґрунтове походження, серед потоків CO₂, що надходять до атмосфери, емісія з поверхні ґрунтів є однією з найпотужніших [6, 7].

Підвищення акумуляції органічної речовини в ґрунті можливе за впровадження науково-обґрунтованих екологічно збалансованих сівозмін. Важливим резервом стабілізації гумусного стану є надходження органічних речовин за рахунок побічної продукції сільськогосподарських культур, а також проведення хімічної меліорації кислих ґрунтів [8–10]. Оптимальні умови для утримання вуглецю у ґрунті складаються за великих об'ємів біомаси надземної частини і коріння, що розкладається у вологому ґрунті, де аерація не обмежена [11]. Науковці вважають, що головними причинами втрат гумусу за антропогенного використання ґрунтів є збільшення його біогенності, порівняно з природним ценозом, що призводить до зміни водного режиму і посилення мінералізації гумусу [12].

Кругообіг органічного вуглецю в ґрунті – процес динамічний, в якому рослини відіграють провідну роль. Швидкість розкладання органічних матеріалів пропорційна кількості органічної речовини в ґрунті. Збільшуючи вміст органічної речовини можна досягти вищого рівня запасу вуглецю. Ґрунти, багаті на органічну речовину, завжди виділяють його більше ніж бідні. Піщаний неудобрений ґрунт у середньому виділяє 2 кг/га/год CO₂, суглинок – 4, середньоудобрений ґрунт – 5 кг/га/год. [13]. Визначальним чинником істотного порушення балансу депонованого карбону є обробіток ґрунту, незбалансоване застосування мінеральних добрив, порушення структури сівозміни, які не-

гативно впливають на ґрунтову біоту, це знижує екологічну стійкість і продуктивність агроєкосистем [14–16].

На даний час недостатньо досліджень щодо управління органічним вуглецем у Поліській зоні, тому існує необхідність розроблення заходів щодо його секвестрації в низькородючих ґрунтах. Секвестрація вуглецю в ґрунті і продукування CO₂ залежить від запасів гумусу, оскільки він, в середньому, містить 58 % органічного вуглецю [17]. Управління процесами секвестрації вуглецю є основним у розв'язанні подолання деградації ґрунтів. Актуальність наших досліджень пов'язана з необхідністю пошуку шляхів для накопичення органічного вуглецю в ґрунті, що сприятиме зменшенню викидів парникових газів у атмосферу, збільшенню вмісту гумусу та збереженню родючості дерново-підзолистого ґрунту. Тому питання біологічного циклу CO₂ під впливом удобрення на фоні хімічної меліорації і побічної продукції в умовах Західного Полісся потребує глибокого аналізу.

Мета роботи дослідити цикл діоксиду вуглецю у ланці кукурудза – соя за різних доз удобрення на фоні хімічної меліорації та заорювання побічної продукції, встановити інтенсивність емісії CO₂ і баланс органічного вуглецю дерново-підзолистому ґрунту.

Матеріали і методи. Дослідження проведені на стаціонарному досліді у ланці кукурудза – соя. Посівна площа ділянки 99 м² (16,5х6), облікова – 50 м² (12,5х4), повторність досліді триразова. Розміщення варіантів у досліді послідовне. Технологія вирощування культур – загальноприйнята для зони Полісся.

Схема досліді: 1. Без добрив (контроль); 2. CaMg(CO₃)₂ (1,0 Нг) – фон; 3. Фон + рекомендована NPK + S₄₀ + мікродобриво (двічі); 4. Фон + NPK нормативним методом на винос основною продукцією + S₄₀ + мікродобриво (двічі); 5. Фон + NPK нормативним методом на винос основною і побічною продукцією + S₄₀ + мікродобриво (двічі); 6. Фон + N на винос основною продукцією + S₄₀ + мікродобриво (двічі); 7. CaMg(CO₃)₂ (1,5 Нг) + рекомендована NPK + S₄₀ + мікродобриво (двічі); 8. CaCO₃ (1,0 Нг) + рекомендована NPK + S₄₀ + мікродобриво (двічі).

Загальним фоном у досліді є заорювання

побічної продукції вирощуваних культур. Мінеральні добрива під кукурудзу і сою вносили у формі аміачної селітри, амофосу, калію хлористого згідно схеми досліду у ві-

дповідних дозах NPK (табл. 1).

Хімічні меліоранти у формі доломітового $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ та вапнякового CaCO_3 борошна вносилися перед закладанням стаціо-

Таблиця 1. Дози NPK відповідно до схеми досліду

Варіант	Доза внесення NPK під культури, кг/га		
	соя	кукурудза	у середньому
Рекомендована доза	$\text{N}_{45}\text{P}_{60}\text{K}_{60}$	$\text{N}_{120}\text{P}_{90}\text{K}_{120}$	$\text{N}_{83}\text{P}_{75}\text{K}_{90}$
Розрахункова доза за нормативним методом на винос основною продукцією	$\text{N}_{55}\text{P}_{20}\text{K}_{50}$	$\text{N}_{165}\text{P}_{30}\text{K}_{50}$	$\text{N}_{110}\text{P}_{25}\text{K}_{50}$
Розрахункова доза за нормативним методом на винос основною і побічною продукцією	$\text{N}_{65}\text{P}_{50}\text{K}_{75}$	$\text{N}_{200}\text{P}_{70}\text{K}_{150}$	$\text{N}_{133}\text{P}_{60}\text{K}_{113}$
Розрахункова доза N за нормативним методом на винос основною продукцією	N_{55}	N_{165}	N_{110}

нарного досліду дозою визначеною за показником гідролітичної кислотності ($\text{H}_\text{г}$) у кожному варіанті. Позакореневі підживлення мікродобривом (МД) Нутривант універсальний у дозі 2 кг/га проводили дворазово у фазі першої пари, 3–5 пар листків сої та 3–5 і 6–8 листків у кукурудзи.

Ґрунт дослідної ділянки дерново-підзолистий зв'язнопіщаний на час закладки досліду мав кислу реакцію ґрунтового розчину $\text{pH}_{\text{КСЛ}}$, низький вміст легкогідролізних сполук азоту за Корнфілдом і рухомого калію та високим рухомого фосфору за Кірсановим.

Вміст органічного вуглецю у ґрунті визначали за ДСТУ 4289:2004 «Методи визначення органічної речовини». Розрахунок балансу органічної речовини проводився за нормативними показниками та коефіцієнтами згідно методики ННЦ «Інститут ґрунтознавства ім. О. Н. Соколовського».

Результати та обговорення. Показниками вуглецевого циклу агроценозу виступають його запаси в біомасі вирощуваних культур та інтенсивність потоків у атмосферу із різних джерел. Порівняння акумульованого CO_2 рослинами та емітованого в атмосферу від мінералізації рослинної маси, органічної речовини ґрунту за різних доз удобрення і вапнування дають можливість встановити оптимальні шляхи використання дерново-підзолистого ґрунту і мінімізувати непродуктивні втрати органічного вуглецю.

Біологічна продуктивність сільськогосподарських культур визначає пул акумульованого CO_2 , накопиченого за вегетацію. Най-

вища його кількість у досліді встановлена у варіантах застосування повного добрива, т/га: 55,90–65,30 для кукурудзи і 13,70–15,80 для сої. Необхідна для життєдіяльності рослин кількість CO_2 надходить із різних джерел, при цьому основну частину його природної емісії становить вивільнення із поверхні ґрунту (табл. 2).

Наукові дані свідчать, що кількість вуглекислого газу в атмосфері є достатньо стабільною величиною, тому атмосфера не є основним джерелом і не може повністю задовольнити потреби рослин у даному ресурсі. Прийнято, що рослини використовують близько 10 % можливого дифузного притоку CO_2 з атмосфери від загальної потреби [18], що в умовах досліду Західного Полісся склало 1,96–4,04 т/га в агроценозі кукурудза – соя.

Емісія CO_2 в атмосферу від мінералізації рослинної маси залежно від удобрення і хімічної меліорації коливалась у межах 18,6–24,7 т/га та була в 1,2–2,0 рази вищою за контроль (без добрив) і за фон 1,0 $\text{H}_\text{г}$ $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$, що пов'язано з нагромадженням CO_2 більшою масою побічної продукції, рослинних решток за покращеного поживного режиму ґрунту. Без внесення добрив і хімічної меліорації на кислих ґрунтах акумуляція CO_2 надземною і кореневою масою рослин кукурудзи і сої відбувалася повільно до рівня 19,63–25,40 т/га, в результаті чого втрати CO_2 шляхом емісії з рослинної маси були найнижчими і склали 12,4–15,7 т/га.

Різні дози мінерального удобрення на фоні вапнування сприяли як збільшенню

Таблиця 2. Цикл CO₂ за вирощування кукурудзи і сої на дерново-підзолистому ґрунті, (середнє за 2021–2022 рр.), т/га

Варіанти	Акумульовано CO ₂ біомасою культур			Надходження CO ₂ із різних джерел, т/га				
	кукурудза	соя	в середньому	із атмосфери	емісія CO ₂			всього
					рослинної маси	органічної речовини	хімічних меліорантів	
Без добрив (контроль)	30,40	8,86	19,63	1,96	12,40	4,06	-	18,42
CaMg(CO ₃) ₂ (1,0 Н _г) – фон	39,90	10,90	25,40	2,54	15,70	4,61	2,25	25,47
Фон + N ₈₃ P ₇₅ K ₉₀	60,90	13,70	37,30	3,73	22,80	5,01	1,92	33,79
Фон + N ₁₁₀ P ₂₅ K ₅₀	64,80	15,00	39,90	3,99	24,20	5,01	1,60	35,07
Фон + N ₁₃₃ P ₆₀ K ₁₁₃	65,00	15,80	40,40	4,04	24,70	5,01	1,68	35,71
Фон + N ₁₁₀	48,30	11,70	30,00	3,00	18,60	4,61	1,68	28,08
CaMg(CO ₃) ₂ (1,5 Н _г) + N ₈₃ P ₇₅ K ₉₀	65,30	14,50	39,80	3,98	24,40	5,45	2,35	36,57
CaCO ₃ (1,0 Н _г) + N ₈₃ P ₇₅ K ₉₀	55,90	14,40	35,20	3,52	21,60	5,23	1,78	32,44

емісійних потоків CO₂, так і накопиченню вуглецю в ґрунті, що пов'язано з більш інтенсивним кругообігом цього елементу. Встановлено, що, в середньому, найбільше CO₂ акумулює біомаса кукурудзи і сої у варіанті з насиченістю N₁₃₃P₆₀K₁₁₃ на фоні 1,0 Н_г CaMg(CO₃)₂, що, в свою чергу, є підвищеним джерелом емісії діоксиду карбону при зароблянні в ґрунт нетоварної частини урожаю культур.

За інтенсивного використання ґрунту у сільськогосподарському виробництві порушується рівновага емісійно-депонувальних процесів вуглецю в сторону підсилення мінералізації органічної речовини. Значна кількість побічних компонентів, яка при цьому утворюється, містить сполуки, що легко розкладаються ґрунтовими мікроорганізмами, і вуглець у вигляді вуглекислого газу повертається до атмосфери [19]. У досліді кількість мінералізованого органічного вуглецю, який перейшов у CO₂, за внесення різних доз мінеральних добрив на фоні хімічної меліорації в середньому становив 4,61–5,45 т/га за показника на контролі (без добрив) 4,06 т/га. У разі застосування рекомендованої і розрахункових доз добрив на фоні 1,0 Н_г CaMg(CO₃)₂ емісія CO₂ від зазначеного джерела зросла на 23,4 % порівняно з контролем (без добрив). Внесення рекомендованої дози добрив на фоні 1,5 т/га Н_г

CaMg(CO₃)₂ призвело до посилення емісії CO₂ на 34,2 % порівняно з контролем і на 18,2 % – з фоном, що пов'язано з вмістом органічного вуглецю у варіантах досліджуваного ґрунту.

Вапнякові матеріали, які застосовують для нейтралізації кислотності ґрунтового розчину, впливають на потоки парникових газів у атмосферу. За даними дослідників, якщо карбонатні ґрунти з високим рН виступають поглиначами CO₂, то в кислих ґрунтах меліоранти слугують чистим джерелом CO₂ [20]. Розрахунок викидів CO₂ від вапнування проведено з урахуванням виду, дози меліоранта та коефіцієнта перерахунку 0,48 для доломітового і 0,44 – для вапнякового борошна [21]. Внесення 1,5 Н_г дози CaMg(CO₃)₂ за рахунок надходження більшої кількості карбонатів у складі доломітового борошна забезпечило зростання емітованого CO₂ до 2,35 т/га.

За результатами отриманих даних встановлено, що загальна кількість емітованого в атмосферу CO₂ становила 18,42–36,18 т/га і залежала від доз добрив на фоні хімічної меліорації, що в 1,5–2 рази збільшило депонування діоксиду карбону порівняно з контролем (без добрив). Обсяги фотосинтетичного стоку CO₂, у середньому по двох культурах, залежно від різних доз добрив із додаванням сірки і мікродобрив на фоні хі-

мічної меліорації з заорюванням побічної продукції змінювалися у межах 25,40–40,40 т/га і перевищували його емісію на 0,30–5,10 т/га, що зумовлено високим асиміляційним потенціалом для реалізації біопродуктивності рослин.

Заорювання нетоварної частини урожаю сприяє посиленню дисипації CO₂ в атмосферу. У досліді частка емісії CO₂ із ро-

слинної маси на удобрюваних варіантах становила 74,7–78,7 % від загального показника емісії, проте у даних варіантах отримано вищу продуктивність культур порівняно з контролем і фоном (табл. 3). За таких умов непродуктивні викиди CO₂ знизилися, що свідчить про ефективне використання діоксиду вуглецю протягом вегетації культур.

Таблиця 3. Вплив удобрення і меліорації на продуктивність культур та викиди CO₂ в умовах Західного Полісся, (середнє за 2021–2022 рр.)

Варіант	Продуктивність, з. од., т/га	Загальна емісія CO ₂ , т/га	Відношення емісії CO ₂ до продуктивності культур
Без добрив (контроль)	3,54	16,46	4,65:1
CaMg(CO ₃) ₂ (1,0 Н _г) – фон	4,88	22,56	4,62:1
Фон + N ₈₃ P ₇₅ K ₉₀	7,51	29,73	3,96:1
Фон + N ₁₁₀ P ₂₅ K ₅₀	8,15	30,81	3,78:1
Фон + N ₁₃₃ P ₆₀ K ₁₁₃	8,07	31,39	3,89:1
Фон + N ₁₁₀	5,76	24,89	4,32:1
CaMg(CO ₃) ₂ (1,5 Н _г) + N ₈₃ P ₇₅ K ₉₀	7,93	32,20	4,06:1
CaCO ₃ (1,0 Н _г) + N ₈₃ P ₇₅ K ₉₀	6,89	28,61	4,15:1

Відношення загальної емісії CO₂ до середнього виходу зернових одиниць у ланці кукурудза – соя за кумулятивним виходом залежало від доз мінеральних добрив на фоні хімічної меліорації з внесенням побічної продукції і рослинних решток у ґрунт. Так, у варіантах без добрив і хімічної меліорації на 1 т виходу зернових одиниць приходилося 4,65 і 4,62 од. CO₂, тоді як за внесення розрахункових доз NPK на фоні 1,0 Н_г CaMg(CO₃)₂ співвідношення знизилася до 3,78 і 3,89 од. на 1 т зернових одиниць.

Вуглець є основною складовою органічної частини ґрунту. Його збереження і відновлення вмісту має важливе значення для ведення сталого сільського господарства. За відсутності традиційних органічних добрив джерелом повернення вуглецю в ґрунт може слугувати заробляння нетоварної частини урожаю та кореневих решток вирощуваних культур. Встановлено, що вклад пожнивно-кореневих і поверхневих решток у накопичення органічного вуглецю у ґрунті практично рівноцінний (рис. 1). Лише у варіанті з найвищою продуктивністю культур (фон + N₁₃₃P₆₀K₁₁₃ + S₄₀ + мікродобриво), у серед-

ньому за два роки, відзначено його накопичення за рахунок побічної продукції на рівні 51,8 % від загальної кількості.

У стаціонарному польовому досліді встановлено, що за відсутності добрив на контролі і у варіанті проведення меліорації 1,0 Н_г дозою CaMg(CO₃)₂ (фон) у середньому за два роки сформовано найбільш дефіцитний баланс органічного вуглецю -0,47–0,69 т/га. Слід відзначити, що у варіантах з одностороннім внесенням азотних добрив N₁₁₀ на фоні 1,0 Н_г CaMg(CO₃)₂ і N₈₃P₇₅K₉₀ (рекомендована доза) на фоні 1,0 Н_г CaCO₃ за рахунок збільшення рослинної маси кукурудзи і сої на 16,0–33,4 % дефіцитний баланс органічного вуглецю зменшується, проте сальдо залишається від’ємним (-0,27 і -0,10 т/га, відповідно). Лише внесення, розрахованих за нормативним методом, доз мінеральних добрив на фоні 1,0 Н_г і рекомендованої на фоні 1,5 Н_г доз CaMg(CO₃)₂ зумовили достатню продуктивність культур, за якої заорювання пожнивно-кореневих решток і побічної продукції сформувало баланс органічного вуглецю 0,12–0,15 т/га.

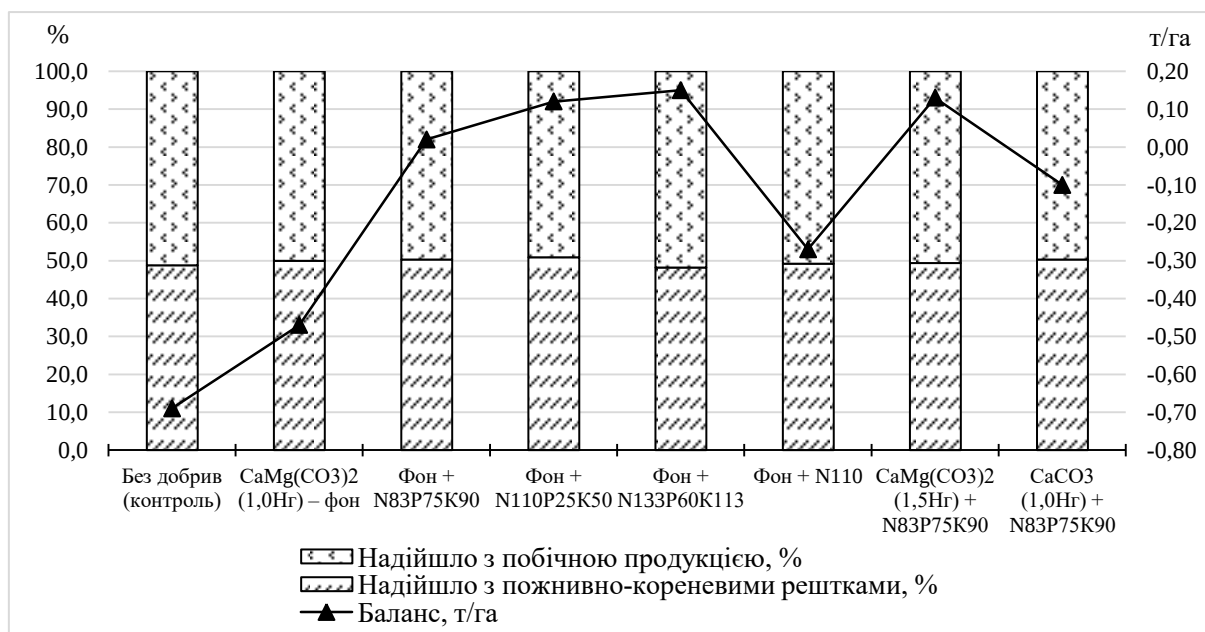


Рис. 1. Частка участі продукції рослинництва в надходженні органічного вуглецю і його баланс у ланці кукурудза – соя, середнє за 2021–2022 рр.

Висновки. Заорювання рослинної маси в ґрунт за підвищення продуктивності кукурудзи і сої на дерново-підзолистому зв'язно-піщаному ґрунті із застосуванням розрахункових доз добрив нормативним методом на фоні 1,0 Нг CaMg(CO₃)₂ є ефективним за-

ходом у боротьбі з деградацією ґрунту, оскільки забезпечує включення у колообіг додаткової кількості органічного вуглецю, який спрямований на його закріплення за рахунок формування бездефіцитного балансу 0,12 і 0,15 т/га.

Використана література

- Бедернічек Т. Ю. Резервуари і потоки карбону в наземних екосистемах України (за матеріалами наукового повідомлення на засіданні Президії НАН України 9 листопада 2016 року). *Вісник НАН України*. 2017. № 1. С. 98–106. doi: 10.15407/visn2017.01.098.
- Lal R. Sequestering Atmospheric Carbon Dioxide. *Critical Reviews in Plant Sciences*. 2009. Vol. 28. Is. 3. P. 90–96. doi: 10.1080/07352680902782711.
- 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 (110) doi: 10.31521/2313-092X/2021-2(110)-6.
- 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>.
- Food security and climate change: “4 per 1000” initiative new tangible global challenges for the soil. Conference report. 18–20 Jun 2019. Poitiers, France. <https://simposium.inrae.fr/4p1000>.
- Балюк С. А., Кучер А. В. Просторові особливості ґрунтового покриття як основа сталого управління ґрунтами. *Український географічний журнал*. 2019. № 3 (107). С. 3–14. <https://doi.org/10.15407/ugz2019.03.003>.
- Кучер А. В. Еколого-економічні аспекти розвитку низьковуглецевого сільськогосподарського землекористування. Харків: Смуґаста типографія, 2015. 68 с.
- Saskia D., Keesstra, Johan Bouma et al. The significance of soils and soil science towards realization of the United Nations Sustainable Development Goals. *Soil*. 2016. V. 2. Is. 2. P. 111–128. doi: 10.5194/soil-2-111-2016.
- Караєва Н. В., Березницька М. В. Формування стратегічних напрямів переходу до низьковуглецевого розвитку України на основі експертної оцінки. *Економічний вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут»*. 2014. № 11. С. 39–46.
- Камінський В. Ф. Сівозміна як основа сталого землекористування та продовольчої безпеки України.
- Зб. наукових праць ННЦ «Інститут землеробства НААН». 2015. Вип. 2. С. 3–15.
- Полевой А. Н., Божко Л. Е. Оценка динамики органического углерода чернозема оподзоленного в полевом севообороте при изменении климата. *Журнал Белорусского государственного университета. География. Геология*. 2019. № 2. С. 65–78.

doi: 10.33581/2521-6740-2019-2-65-78.

13. Ткачук В. П., Трофименко П. І. Вміст гумусу за різного використання дерново-підзолистого супіщаного ґрунту та обсяги емісійних втрат CO₂. *Наукові доповіді НУБіП України*. 2020. № 2 (84). doi: 10.31548/dopovid2020.02.007.
14. Сябрук О. П., Мирошниченко Н. Н., Доценко А. В. Влияние систем удобрения на эмиссию CO₂ из чернозема типичного. *Почвоведение и агрохимия*. 2014. № 1 (52). С. 94–104. <https://soil.belal.by/jour/article/view/443/443>.
15. Гаврилюк В. А., Мелимука Р. Я. Емісія вуглекислого газу та мікробіологічна активність ґрунтів за різного сільськогосподарського призначення в умовах Західного Полісся. *Вісник Сумського національного аграрного університету*. 2022. вип. 1 (47). С. 42–47. doi: 10.32845/agrobio.2022.1.6.
16. Трофименко П. І., Іванік О. М., Трофименко Н. В. Методологія моніторингу CO₂ у системі «ґрунт – атмосфера – рослина» та добовий біологічний колообіг вуглецю ґрунтів агроландшафтів Полісся України. *Таврійський науковий вісник*. 2019. № 110. Ч. 2. С. 231–244. doi: 10.32851/2226-0099.2019.110-2.30.
17. Когут Б. М., Семенов В. М. Оценка насыщенности почвы органическим углеродом. *Бюллетень Почвенного института имени В. В. Докучаева*. 2020. Вып. 102. С. 103–124. doi: 10.19047/0136-1694-2020-102-103-124.
18. Бедернічек Т. Ю. Вуглець, ґрунт і парникові гази. Чернівці: Друк Арт, 2021. Вип. 23. 32 с.
19. Некос В. Ю., Некос А. Н., Сафранов Т. А. Загальна екологія та неоекологія: підручник. Харків, 2010. С. 165.
20. Галицька М. А., Писаренко П. В., Кулик М. А. Гуміфікаційно-мінералізаційні процеси як показник акумуляції карбону в ґрунтах. *Таврійський науковий вісник: Сільськогосподарські науки*. 2018. Вип. 102. С. 130–136. URL: http://www.tnv-agro.ksauniv.ks.ua/archives/102_2018/22.pdf.
21. Kunhikrishnan A., Thangarajan R., Bolan N. S. et al. Chapter One – Functional Relationships of Soil Acidification, Liming, and Greenhouse Gas Flux. Ed.(s): Donald L. Sparks, *Advances in Agronomy*. 2016. Vol. 139. PP. 1–71. <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2016.05.001>.
22. Measuring emission: A guide for organizations: 2022 detailed guide. Wellington, 2022. 141 p. URL: <https://environment.govt.nz/publications/measuring-emissions-a-guide-for-organisations-2022-detailed-guide/>

References

1. Bedernichek, T. Yu. (2017). Carbon reservoirs and fluxes in terrestrial ecosystems of Ukraine (according to the materials of scientific report at the meeting of the Presidium of NAS of Ukraine, November 9, 2016). *Visnyk NAAN Ukrainy* [Visnyk of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine], 1. 98–106. <https://doi.org/10.15407/vsn2017.01.098> [in Ukrainian].
2. Lal, R. (2009). Sequestering Atmospheric Carbon Dioxide. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 28, 3. 90–96. <https://doi.org/10.1080/07352680902782711>.
3. Skrylnyk, Ye., Hetmanenko, V., Kutova, A., Moskalenko, V. (2021). Potential resources of organic raw materials in Ukraine and the approaches to their management for increasing soil organic carbon stocks. *Visnyk ahrarnoi nauky Prychornomoria* [Bulletin of Agrarian Science of the Black Sea Region], 2. [https://doi.org/10.31521/2313-092X/2021-2\(110\)-6](https://doi.org/10.31521/2313-092X/2021-2(110)-6) [in Ukrainian].
4. Ryzhuk, S., Kochyk, G., Melnychuk, A., Kucher, G., Savchuk, O. (2022). Justification of approaches and strategic directions for sequestration and increase of organic carbon in soils of Polissia zone. *Visnyk ahrarnoyi nauky* [Bulletin of Agricultural Science], 5 (830). 20–32. <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202205-04> [in Ukrainian].
5. Food security and climate change: “4 per 1000” initiative new tangible global challenges for the soil (2019). *Conference report*. 18–20 Jun 2019. Poitiers, France. <https://simposium.inrae.fr/4p1000>.
6. Baliuk, S., Kucher, A. (2019). Spatial features of the soil cover as the basis for sustainable soil management. *Ukrainskyi heohrafichnyi zhurnal* [Ukrainian Geographical Journal], 3 (107). 3–14. <https://doi.org/10.15407/ugz2019.03.003> [in Ukrainian].
7. Kucher, A. (2015). *Ekoloho-ekonomichni aspekty rozvytku nyzkovuhletsevoho silskohospodarskoho zemlekorystuvannia* [Ecological and economic aspects of the development of low-carbon agricultural land use]. Kharkiv: Smuhasta typohrafiia, 68. [in Ukrainian].
8. Saskia, D., Keesstra, Johan Bouma et al. (2016). The significance of soils and soil science towards realization of the United Nations Sustainable Development Goals. [Soil], 2, 2, 111–128. doi: 10.5194/soil-2-111-2016.
9. Karaieva, N., Berezhnyska, M. (2014). Forming strategic directions of the transition to low-carbon development in Ukraine based on peer review. *Ekonomichnyi visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu Ukrainy «Kyivskiy politekhnichnyi instytut»* [Economic bulletin of National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnical Institute"], 11, 39–46. [in Ukrainian].
10. Kaminskyi, V. (2015). Crop rotation as the basis of sustainable land use and food security of Ukraine. *Zbirnyk naukovykh prats NNTs «Instytut zemlerobstva NAAN»* [Collection of scientific works of the National Scientific Center "Institute of Agriculture of the National Academy of Sciences"], 2, 3–15. [in Ukrainian].
11. Polevoy, A., Bozhko, L. (2019). Assessment of organic carbon dynamics in podzolized chernozem soil in field crop rotation under the climate change. *Zhurnal Belorusskoho hosudarstvennoho universiteta. Heohrafiya. Heolohiya* [Journal of the Belarusian State University. Geography and Geology], 2, 65–78. <https://doi.org/10.33581/2521-6740-2019-2-65-78> [in Russian].
12. Tkachuk, V., Trofymenko, P. (2020). Humus content

- for different use of sod-podzolic sandy soil and the amount of CO₂ emissions lost. *Naukovi dopovidi NUBiP Ukrayiny* [Scientific reports of National university of life and environmental sciences of Ukraine], 2 (84). <http://dx.doi.org/10.31548/dopovidi.2020.02.007> [in Ukrainian].
12. Syabruk, O., Miroshnychenko, N., A. V. Dotsenko, A.. (2014). Influence of fertilization systems on CO₂ emissions from chernozem typical. *Pochvovyedyniye i ahrokhimiya* [Soil Science and Agrochemistry], 1 (52), 94–104. <https://soil.belal.by/jour/article/download/443/443>.
 13. Gavryliuk, V., Melymuka, R.. (2022). Carbon gas emissions and microbiological activity of soils under different agricultural purposes in conditions of Western Polissia. *Visnyk Sumskoho natsionalnoho ahrarnoho universytetu* [Bulletin of Sumy National Agrarian University], 1, 42–47. <https://doi.org/10.32845/agrobio.2022.1.6> [in Ukrainian].
 14. Trofymenko, P., Ivanik, O., Trofymenko, N.. (2019). Methodology of CO₂ monitoring in the system “soil – atmosphere – plant” and daily biological circulation of soils carbon within Polissia zone Ukraine. *Tavriyskyi naukovi visnyk* [Taurida Scientific Bulletin], 110, 2, 231–244. <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2019.110-2.30> [in Ukrainian].
 15. Kohut, B., Semenov, V. (2020) Estimation of soil saturation with organic carbon. *Byulleten Pochvenoho instituta im. V. V. Dokuchayeva* [Dokuchaev Soil Bulletin] 102, 103–124. doi: 10.19047/0136-1694-2020-102-103-124 [in Russian].
 16. Bedernichek, T. (2021). Vuhlets, grunt i parnykovi hazy. [Carbon, soil and greenhouse gases]. Chernivtsi: Druk Art, 23, 32 [in Ukrainian].
 17. Nekos, V. Yu., Nekos, A. N., Safranov, T. A. (2010). Zahalna ekolohiia ta neoekolohiia: pidruchnyk [General ecology and neoeology: A textbook.]. Kharkiv, N.p. [in Ukrainian].
 18. Halytska, M. A., Pysarenko, P. V., Kulyk, M. A. (2018). Humifikatsiino-mineralizatsiini protsesy yak pokaznyk akumulatsii karbonu v gruntakh [Humification and mineralization processes as an indicator of carbon accumulation in soils.]. *Tavriyskyi naukovi visnyk : Silskohospodarski nauky* [Taurida Scientific Bulletin: Agricultural sciences]. 102, 130–136. http://www.tnv-agro.ksauniv.ks.ua/archives/102_2018/22.pdf [in Ukrainian].
 19. Kunhikrishnan, A., Thangarajan, R., Bolan, N. S. et al (2016). Chapter One - Functional Relationships of Soil Acidification, Liming, and Greenhouse Gas Flux. Ed.(s): Donald L. Sparks, *Advances in Agronomy*. 139, 1–71. <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2016.05.001>.
 20. *Measuring emission: A guide for organizations: 2022 detailed guide* (2022). Wellington, 141. <https://environment.govt.nz/publications/measuring-emissions-a-guide-for-organisations-2022-detailed-guide/>.

UDK 631.95:631.8/821.1:633.15/633.34:631.445.21

Polovyi V. M., Yashchenko L. A., Rovna H. F., Huk B. V. Biological CO₂ cycle and organic carbon balance in maize (*Zea mays*) – soybean (*Glycine hispida* (Moench) Maxim.) agroecosystem in sod-podzolic soil. *Grain Crops*. 2023. 7 (1). 162–169.

Institute of Agriculture of Western Polissia NAAS, 5 Rivnenska St., Shubkiv village, Rivne region, 35325, Ukraine

Topicality. Today, the search for ways to accumulate organic carbon and restore soil fertility, as well as increase crop yield, is a topical issue for the sod-podzolic soils of Western Polissia. **Purpose.** To determine the intensity of CO₂ emission and the organic carbon balance on sod-podzolic soil at different fertilizer rates in the maize-soybean link against the background of chemical amelioration with incorporation of by-products. **Methods.** We used such methods as a stationary field trial, comparative and calculation method to determine the accumulated and emitted CO₂ by plants, analytical and calculation methods to determine the organic carbon balance. **Results.** The CO₂ emissions from organic matter mineralization amounted to 5.01–5.45 t/ha by the recommended fertilizer rate and calculated by the normative method on the background of dolomite and limestone powder, which was 23.4–34.2 % higher than the control (without fertilizers). The CO₂ emission into the atmosphere through plant mass mineralization, depending on fertilization and chemical amelioration, was in the range of 18.6–24.7 t/ha and exceeded the control (without fertilizers) and the background of 1.0 Hh (hydrolytic acidity) CaMg(CO₃)₂ by 1.2–2.0 times, which is associated with improved soil conditions, higher by-products mass and CO₂ accumulation by plants. The highest amount of CO₂ was accumulated by maize (64.8–65.0 t/ha) and soybean (15.0–15.8 t/ha) at combination of the fertilizer rate calculated by the normative method with microfertilizers on the background of dolomite flour. The application of calculated fertilizer rates on the background of 1.0 Hh CaMg(CO₃)₂ provided an advantage in the formation of organic carbon in the soil, which formed a positive balance of 0.12 and 0.15 t/ha. In the variant without fertilizers and chemical amelioration, the ratio of total CO₂ emissions into the atmosphere per 1 t of grain yield in the maize-soybean link was 4.65 and 4.62 units, while the application of the fertilizer rate calculated by the normative method against the background of 1.0 Hh CaMg(CO₃)₂ decreased to 3.78 and 3.89 units, respectively. **Conclusions.** For increasing the maize and soybean productivity on sod-podzolic loamy sandy soil, incorporation of plant mass into the soil with applying the fertiliser rates calculated by the standard method against the background of 1.0 Nh CaMg(CO₃)₂ is an effective method to control soil degradation that ensures the inclusion of additional organic carbon into the cycle, which is aimed at its fixation by forming a deficit-free balance of 0.12 and 0.15 t/ha.

Key words: emission, organic carbon, productivity, fertilization, land amelioration, plant mass