

Ященко Л. А. [1; ORCID ID: 0000-0003-1407-0133],

к.с.-г.н., доцент

Курач О. В. [2; ORCID ID: 0000-0002-1343-097X],

к.с.-г.н., с.н.с., завідувач відділом рослинництва

Ровна Г. М. [2; ORCID ID: 0000-0002-7599-5650],

с.н.с.

Гук Б. В. [2; ORCID ID: 0000-0002-8666-2667],

с.н.с.

¹Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне²Інститут сільського господарства Західного Полісся НААН України,
с. Шубків Рівненського р-ну, Рівненської обл.

ЦИКЛ ДІОКСИДУ КАРБОНУ НА ДЕРНОВО-ПІДЗОЛИСТОМУ ҐРУНТІ ЗА РІЗНИХ ДОЗ УДОБРЕННЯ НА ФОНІ ХІМІЧНОЇ МЕЛІОРАЦІЇ

У результаті досліджень встановлено вплив різних доз мінеральних добрив і хімічної меліорації на баланс CO_2 , процеси гумусоутворення та продуктивність соняшнику на дерново-підзолистому ґрунті. Заорювання побічної продукції, кореневих і поверхневих решток забезпечило нагромадження рослинної маси в межах 4,28–9,34 т/га залежно від системи удобрення. Найвищі показники рослинної маси, гумусу та надходження CO_2 у ґрунт одержано за внесення добрив, розрахованих нормативним методом на основну і побічну продукцію, у поєднанні з $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$. Встановлено, що кількість гумусу рослинної маси змінювалася від 0,60 до 1,31 т/га, а мінералізація рослинної маси становила 4,66–8,03 т/га. Найбільше надходження CO_2 від мінералізації рослинної маси становило 13,2 т/га за нормативного удобрення на фоні доломітового борошна. Доведено пряму залежність між поглинанням CO_2 рослинами соняшнику та продуктивністю культури ($R^2 = 0,99$). Внесення розрахункової дози $\text{N}_{110}\text{P}_{65}\text{K}_{105}$ на фоні $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ 1,0 дози Нг забезпечило формування найвищого додатного балансу CO_2 у ґрунті – 1,53 т/га. Найвищий еколого-економічний ефект за цього варіанта удобрення становив 99,5 дол. США/га.

Ключові слова: соняшник; дози добрив; хімічна меліорація; органічний вуглець; баланс.

Постановка проблеми. В умовах глобальних і регіональних змін клімату важливим джерелом парникових газів, з якого вони надходять в атмосферу, є ґрунт, який є потужним резервом накопичення і зберігання органічного вуглецю у формі гумусових речовин. За результатами теоретичного аналізу з'ясовано, що на сучасному етапі значущість проблеми управління ґрунтовим органічним вуглецем зумовлена тим, що він має вирішальне значення для формування родючості ґрунту, його відновлення в агроєкосистемах, адаптації виробництва до змін клімату. Ці питання знайшли відображення в дослідженнях вітчизняних учених, зокрема С.А. Балюк, В.В. Медведєв, А.В. Кучер [1; 2].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Порушення ґрунтового дихання призводить до зміни вмісту CO_2 у приземних шарах атмосфери. Діоксид атмосфери приблизно на 80–90% має ґрунтове походження, серед потоків CO_2 , що надходять до атмосфери, емісія з поверхні ґрунтів є однією з найпотужніших [3]. Часова динаміка зміни величин, які визначають інтенсивність продукування ґрунтами діоксиду карбону під час вегетації культур, залежить від цілої низки факторів: типу ґрунту, сільськогосподарської культури та етапів її органогенезу, умов рельєфу, температури повітря та ґрунту, кількості доступної для рослини ґрунтової вологи та повітря, а також концентрації CO_2 у надґрунтовому шарі повітря. Наявність або відсутність у ґрунті достатньої кількості живих мікроорганізмів, їх оптимального якісного складу в цілому довершують сучасний науково доведений перелік чинників, що визначають характер ґрунтового дихання та процесів дисипації діоксиду вуглецю [4; 5].

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 ґрантів. Оптимальні умови для утримання вуглецю у ґрунті складаються за великих об'ємів біомаси надземної маси і коріння, що розкладається у вологому ґрунті, де аерація необмежена. Науковці вважають, що головними причинами втрат гумусу за антропогенного використання ґрунтів є збільшення його біогенності, порівняно з природнім ценозом, що призводить до зміни водного режиму і посилення мінералізації гумусу [6; 7].

Швидкість розкладання органічних матеріалів пропорційна кількості органічної речовини в ґрунті. Збільшуючи вміст органічної

речовини можна досягти більш високого рівня запасу вуглецю. Ґрунти, багаті на органічну речовину, завжди виділяють його більше ніж бідні. Піщаний неудобрений ґрунт у середньому виділяє 2 кг/га/год CO_2 , суглинок – 4, середньо удобрений ґрунт 5 кг/га/год. Визначальним чинником істотного порушення балансу депонованого карбону є обробіток ґрунту, незбалансоване застосування мінеральних добрив, порушення структури сівозміни, які мають негативний вплив на ґрунтову біоту, що знижують екологічну стійкість і продуктивність агроecosистем [8; 9].

Встановлено, що кількість діоксиду карбону, що виділяється у приземний шар атмосфери з ґрунту, тісно пов'язана з якістю рослинних решток, біотичною активністю та інтенсивністю процесів мінералізації – гуміфікацією. За величиною цього показника можна судити про інтенсивність процесів мінералізації органічної речовини ґрунту [10; 11]. У разі гострої нестачі вологи спостерігається зниження обсягів емісії CO_2 з ґрунту.

Сучасне потепління клімату спричиняє інтенсифікацію потоку неорганічного вуглецю з поверхні ґрунтів за рахунок біохімічної деградації органічної речовини. У зв'язку із загрозою глобального потепління одним з актуальних завдань сучасності є отримання об'єктивних оцінок балансу вуглецю в екосистемах. Для цього необхідно встановлення інтенсивності процесів мінералізації та величини річних потоків вуглекислого газу з ґрунтів під різними рослинними угрупованнями [12; 13].

Виснаження запасів органічного вуглецю чинить масштабний вплив на всю еколого-економічну систему, що висвітлено у працях С.П. Позняк, О.Г. Тараріко [14]. Саме деградовані ґрунти найбільше потребують відновлюваних заходів з комплексного проведення їх зі збереження і раціонального використання вологи та хімічної меліорації, що дасть змогу мінімізувати негативний вплив глобального потепління на стабільність землеробства та підвищення продуктивності сільськогосподарських культур [15].

Існуючі дослідження вказують, що важливим резервом стабілізації гумусного стану є надходження органічних речовин за рахунок побічної продукції сільськогосподарських культур, а також проведення хімічної меліорації кислих ґрунтів. Оптимальні умови для утримання вуглецю у ґрунті складаються за великих об'ємів

надземної маси і коріння [3]. Доведено, що секвестрація вуглецю в ґрунті і продукування CO_2 залежить від запасів гумусу, оскільки він в середньому містить 58% органічного вуглецю [5; 8]. Важливість управління органічним вуглецем є актуальним з урахуванням змін клімату, тому існує необхідність розроблення заходів щодо його секвестрації на низько родючих ґрунтах і є мало вивченим, що підтверджується міжнародними дослідженнями [16]. Вивчення біологічного циклу CO_2 дозволить розробити ефективні рекомендації щодо накопичення органічного вуглецю в ґрунті, збільшення вмісту гумусу та подолання деградації ґрунтів за умов змін клімату, підвищити економічну ефективність агровиробництва.

Окремим аспектам розроблення заходів щодо збереження та накопичення органічного вуглецю приділяють увагу зарубіжні вчені [17; 18].

Важливим фактором, що визначає продуктивність ґрунтового покриву, є показник його мікробіологічної активності, оскільки є індикатором родючості ґрунтів, позаяк це важливий параметр моніторингу інтенсивності розкладання органічної речовини, що дає змогу оцінити дію органічних і мінеральних добрив та ефективність упровадження нових елементів технологій вирощування сільськогосподарських культур. Тому станом на сьогоднішній день актуальності набуває напрям досліджень спрямованих на визначення мікробіологічної активності ґрунтового покриву [19].

Управління процесами секвестрації вуглецю є основним в 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 в атмосферу, збільшенню вмісту гумусу та збереженню його родючості.

Внесення побічної продукції, проведення хімічної меліорації та застосування диференційованої системи удобрення забезпечують максимальну окупність затрат, агроекологічну стабільність довкілля і базуються на принципах ресурсозбереження, що є основою для покращення родючості ґрунту в агроценозах.

Мета досліджень – встановити надходження діоксиду карбону з різних джерел і запасів органічного вуглецю в дерново-підзолистому ґрунті у короткочасній сівозміні за різних доз удобрення на фоні хімічної меліорації та заорювання побічної продукції

Матеріал і методи проведення дослідження. Стаціонарний дослід закладений на дерново-підзолистому зв'язнопіщаному ґрунті та проводиться у сівозміні у полі соняшнику.

Посівна площа ділянки в 99 м² (16,5х6), облікова – 50 м² (12,5х4), повторність досліду триразова. Розміщення варіантів у досліді послідовне. Технологія вирощування культур – загальноприйнята для зони Полісся. Захист сільськогосподарських культур від шкідників, хвороб і бур'янів проводився за інтенсивною технологією. Схема досліду: 1. Без добрив (контроль); 2. CaMg(CO₃)₂ (1,0 Нг) – фон; 3. Фон + рекомендована N₆₀P₆₀K₉₀ + мікродобриво (двічі); 4. Фон + N₈₅P₂₀K₃₅ нормативним методом на винос основної продукції з урахуванням коефіцієнта забезпеченості + мікродобриво (двічі); 5. Фон + N₁₁₀P₆₅K₁₀₅ нормативним методом на винос основної і побічної продукції з урахуванням коефіцієнта забезпеченості + мікродобриво (двічі); 6. Фон + N₈₅ нормативним методом на винос основної продукції з урахуванням коефіцієнта забезпеченості + мікродобриво (двічі); 7. CaMg(CO₃)₂ (1,5 Нг) + рекомендована N₆₀P₆₀K₉₀ + мікродобриво (двічі); 8. CaCO₃ (1,0 Нг) + рекомендована N₆₀P₆₀K₉₀ + мікродобриво (двічі).

Загальним фоном у досліді було заорювання побічної продукції попередника. Хімічні меліоранти у формі доломітового та вапнякового борошна вносилися перед закладанням стаціонарного досліду. Позакореневі підживлення мікродобривом Нутривант Універсальний (2 кг/га двічі) проводили у фази листотворення соняшнику.

Лабораторні дослідження ґрунтових зразків проводились у сертифікованій лабораторії Інституту сільського господарства Західного Полісся.

Відбір зразків ґрунту з 0–20 см шару на початку і в кінці вегетації рослин та підготовка зразків до аналізів проводилися згідно ДСТУ 4287:2007 і ДСТУ ISO11464:2007. Їх хімічний аналіз здійснювався згідно методик: органічна речовина (ДСТУ 4289:2004 Якість ґрунту. Методи визначення органічної речовини); розрахунок балансу органічної речовини проводився за нормативними показниками та коефіцієнтами згідно методики, розробленої в ННЦ «Інститут ґрунтознавства ім. О.Н. Соколовського».

Накопичення кількості діоксиду карбону розраховували за: урожайністю культури у сівозміні; виходом побічної продукції, післяжнивних і корневих решток згідно з рівнянням регресії;

виходом сухої речовини з отриманої маси; вмістом вуглецю в масі побічної продукції, стерні й коренях з перерахунком в CO_2 (коефіцієнт 3,7) [20; 21].

Втрати органічного вуглецю і виділення CO_2 з ґрунту оцінювали за допомогою балансових розрахунків та за результатами прямих спостережень за виділенням діоксиду карбону в лабораторних умовах стандартизованих за параметрами температури і вологості за методикою Б.М. Макарова і за методом Штатнова визначали біологічну активність ґрунту з виділенням CO_2 шляхом титрування, мкг/г за добу. Підрахунок проводили за формулою:

$$\text{CO}_2 = (V_1 - V_2) \cdot 2.2 / m \cdot T, \quad (1)$$

де V_1 – кількість 0,1 н розчину NaOH , мл; V_2 – кількість 0,1 н розчину HCl , що витратили на титрування, мл; m – маса ґрунту, г; T – час інкубації, в добах.

Для розрахунку кількості новоутвореного гумусу з рослинної маси в соняшнику використовують коефіцієнт гуміфікації (0,14) за рівнянням:

$$P_r = m \cdot k_r, \quad (2)$$

де P_r – кількість новоутвореного гумусу, т/га; m – рослинна маса, т/га; k_r – коефіцієнт гуміфікації.

Із результатів наукових досліджень відомо, що внесення в ґрунт одного кілограма мінерального азоту викликає виділення в результаті додаткової мінералізації гумусу в середньому 1 кг органічного азоту. В зв'язку з тим, що в гумусі міститься 5% азоту або 1/20 його частина, додаткову кількість мінералізованого гумусу за внесення мінерального азоту розраховували за формулою:

$$HnM = \frac{N}{50} \text{ т/га}, \quad (3)$$

де N – норма внесення мінеральних азотних добрив, кг/га.

Кількість вуглекислого газу, яка виділилась від додаткової мінералізації гумусу за формулою:

$$\text{CO}_2 = HnM \cdot 2,15. \quad (4)$$

Результати досліджень та обговорення. Встановлено, що заорювання побічної продукції, кореневих і поверхневих решток соняшнику показало, що загальна рослинна маса складає від 4,28 т/га до 9,34 т/га і залежить від різних доз удобрення на фоні хімічної меліорації. На контролі (без добрив) нагромадження рослинної маси є низьким 4,28 т/га, тоді як за внесення різних доз добрив, розрахованих нормативним методом на основну і на основну та побічну продукцію $\text{N}_{85}\text{P}_{20}\text{K}_{35}$, $\text{N}_{110}\text{P}_{65}\text{K}_{105}$ на фоні $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ 1,0 Нг дози і за рекомендованої дози $\text{N}_{60}\text{P}_{60}\text{K}_{90}$ на фоні 1,5 дози доломітового

214

борошна з внесенням мікродобрив (двічі) цей показник є найвищим 8,59–9,34 т/га і 8,71 т/га відповідно.

Залежно від різних доз удобрення, хімічної меліорації кількість гумусу рослинної маси змінювалась від 0,60 до 1,31 т/га. Найбільше значення цього показника 1,31 і 1,22 т/га було відзначено за удобрення нормативним методом на основну та побічну продукцію сумісно з мікродобривом на фоні 1,0 дози Нг $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ і 1,5 дози Нг за внесення рекомендованої дози $\text{N}_{60}\text{P}_{60}\text{K}_{90}$.

Інтервал мінералізації рослинної маси перебуває в широкому діапазоні від 4,66 до 8,03 т/га і залежить від досліджуваних чинників (удобрення та хімічної меліорації) та вище контролю (без добрив) в 1,3–2,2 рази, що є фактором потенційної продуктивності культури в агроценозі. В результаті цього надходження CO_2 від мінералізації рослинної маси у полі соняшнику було найвищим за внесення добрив нормативним методом на основну і побічну продукцію на фоні 1,0 дози Нг доломітового борошна і рекомендованої дози на фоні $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ 1,5 дози Нг і склало 13,2 і 12,4 т/га, що вище контролю на 117 і 104% та фону на 71,6 і 61,2% відповідно.

Результати досліджень показали, що найбільше винесено CO_2 основною продукцією на варіантах за нормативним методом удобрення на основну і побічну продукцію на фоні $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ 1,0 Нг дози і за рекомендованої дози на фоні $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ 1,5 дози Нг – 4,85 і 4,50 т/га, тоді як на контролі без добрив 2,08 т/га. Збільшення поглинання CO_2 рослинами соняшнику є суттєвим фактором підвищення її продуктивності. Надходження акумульованого діоксиду карбону рослинами перебуває в прямій залежності від продуктивності культури ($R^2 = 0,99$).

За сумісного застосування на дерново-підзолистому ґрунті під соняшник мінеральних добрив в дозі $\text{N}_{110}\text{P}_{65}\text{K}_{105}$ розрахованої за нормативним методом на основну і побічну продукцію на фоні $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ 1,0 Нг дози та рекомендованої дози $\text{N}_{60}\text{P}_{60}\text{K}_{90}$ на фоні $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ 1,5 дози Нг створюються сприятливі умови для живлення рослин і процесів гумусоутворення, при цьому вміст гумусу підвищується на 0,16–0,17% до контролю (без добрив і хімічної меліорації (0,69%)) (рис. 1).

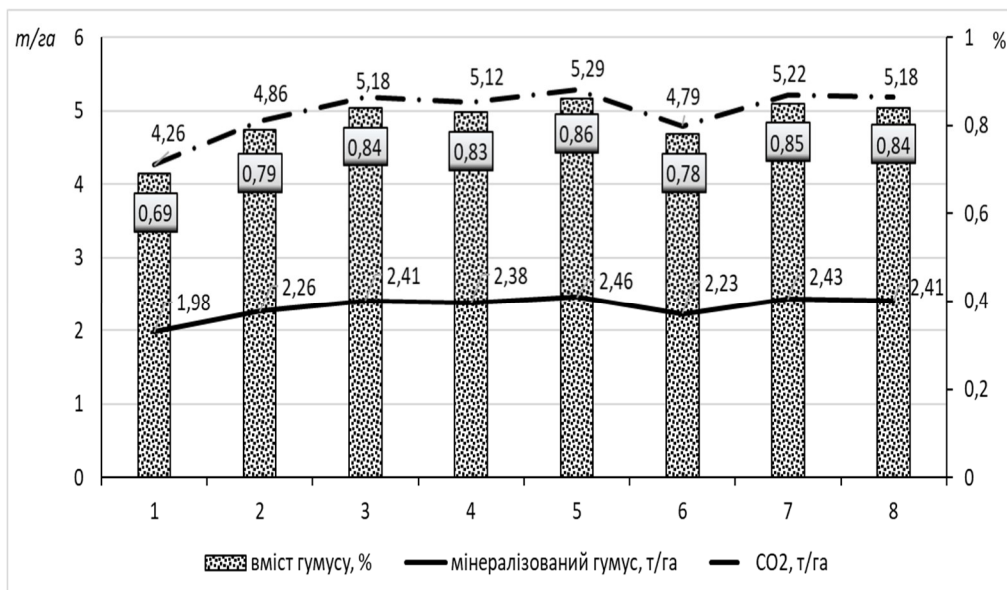


Рис. 1. Вплив різних доз удобрення і хімічної меліорації на вміст гумусу та надходження CO₂ у ґрунт, середнє за 2021–2025 рр.

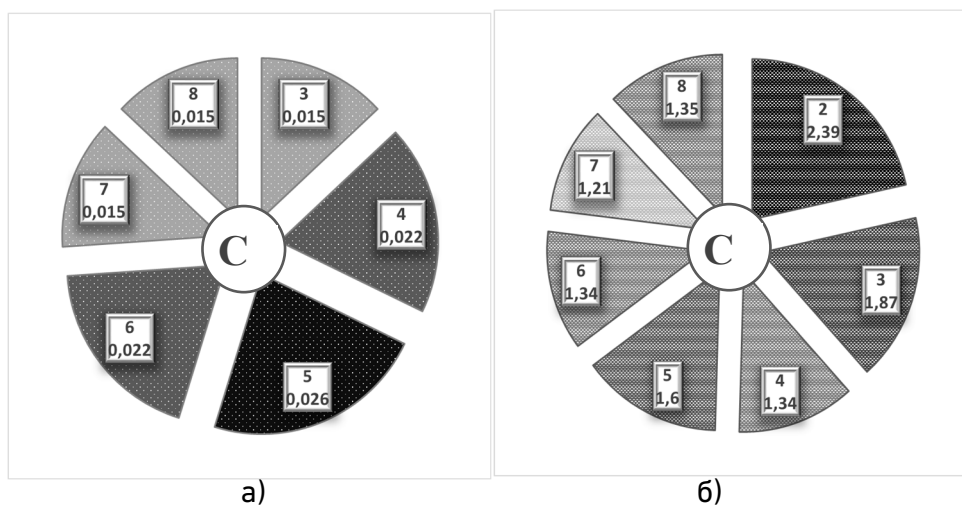


Рис. 2. Емісія діоксиду карбону з ґрунту залежно від різних доз добрив (а) та хімічної меліорації (б), 2021–2025 рр.

Мінералізація гумусу змінювалася залежно від доз удобрення на фоні вапнування в межах від 2,23 до 2,46 т/га і перевищувала контроль на 12,6–24,2%. Надходження CO₂ із гумусу в ґрунт залежно

від досліджуваних варіантів склало 4,26–5,29 т/га і було найвищим 5,29 т/га і 5,22 т/га за удобрення розрахованого нормативним методом на основну та побічну продукцію на фоні доломітового борошна 1,0 дози Нг та рекомендованої дози на фоні $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ 1,5 дози Нг. Найнижче нагромадження діоксиду карбону в ґрунті 4,26 т/га спостерігалось на контролі (без добрив).

Для визначення емісії CO_2 із доломітового і вапнякового борошна використовували коефіцієнти 0,48 і 0,44 відповідно. Викиди CO_2 від різних доз азотних добрив змінювалось від 0,009 до 0,013 т/га і було вищим на варіантах за удобрення розрахованим нормативним методом (рис. 2). Норма хімічних меліорантів залежала від кислотності ґрунту і перебувала в діапазоні 2,48–4,97 т/га, а надходження CO_2 у ґрунт становило 1,19–2,39 т/га.

Нераціональне використання земель є причиною того, що ґрунти втрачають органічну речовину, вуглець і відбуваються викиди парникових газів. Дослідженнями встановлено, що на дерново-підзолистому ґрунті за внесення рекомендованої дози та розрахованої за нормативним методом на фоні хімічної меліорації із заорюванням нетоварної частини врожаю соняшнику забезпечують бездефіцитний баланс CO_2 в ґрунті 0,29–1,53 т/га, тоді як на контролі без добрив і хімічної меліорації та за внесення N_{85} на фоні $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ 1,0 дози Нг втрати шляхом емісії CO_2 з ґрунту складають 0,27–2,27 т/га. Найвище надходження CO_2 у ґрунт – 13,2 т/га за позитивного балансу 1,53 т/га відзначено за удобрення нормативним методом на основну і побічну продукцію на фоні $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$.

Можливість зв'язування вуглецю у вигляді вуглекислого газу в ґрунті дозволяє розв'язувати питання глобального потепління, оскільки оксид вуглецю є одним із найбільш поширених парникових газів. Крім того, збільшення кількості вуглецю в ґрунті (особливо в гумусі) сприяє покращенню його агрономічно-цінних властивостей та забезпечує зростання рівня продуктивності сільськогосподарських культур.

Результати економічного оцінювання балансу CO_2 на дерново-підзолистому ґрунті за різних доз удобрення і вапнування за впливом на потенційну родючість ґрунту показали, що без застосування добрив (контроль), за однобічного внесення азотних добрив і на фоні

$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ формувався збиток від втрати діоксиду карбону в розмірі 17,6–18,2 і 147,6 дол. США/га відповідно.

Найвищий економічний ефект одержано за розрахункової дози добрив на основну та побічну продукцію нормативним методом на фоні $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ 1,0 дози Нг і склав 99,5 дол. США/га. Дещо нижчим 93,0 дол. США/га він був за удобрення рекомендованої дози на фоні 1,5 дози Нг $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$.

Висновки. Встановлено, що баланс діоксиду карбону (CO_2) є одним із основних індикаторів родючості ґрунту. Доведено, що на дерново-підзолистому ґрунті за внесення розрахункової дози удобрення нормативним методом на основну та побічну продукцію на фоні $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ 1,0 дози Нг і рекомендованої дози на фоні $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ 1,5 дози Нг серед удобрюваних варіантів зумовило зростання маси побічної продукції, післязбиральних залишків і забезпечило формування в агроценозі соняшнику найвищого додатного балансу CO_2 в ґрунті відповідно 1,53 і 1,43 т/га.

У результаті економічного оцінювання балансу CO_2 залежно від удобрення і хімічної меліорації на потенційну родючість ґрунту показали, що за дози добрив, розрахованої нормативним методом на основну та побічну продукцію формувався позитивний еколого-економічний ефект 99,5 дол. США/га.

1. Балюк С. А., Медведєв В. В., Кучер А. В., Соловей В. Б., Левін А. Я., Колмаз Ю. Т. Управління органічним вуглецем ґрунту в контексті продовольчої безпеки й змін клімату. *Вісник аграрної науки*. 2017. № 9. С. 11–18. DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk201709-02>.
2. Балюк С. А., Кучер А. В. Просторові особливості ґрунтового покриву як основа сталого управління ґрунтами. *Український географічний журнал*. 2019. № 3. С. 3–14. DOI: <https://doi.org/10.15407/ugz2019.03.003>.
3. Гаврилук 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. Сер. Агрономія і біологія*. 2022. № 1. Т. 47. С. 42–47. DOI: <https://doi.org/10.32845/agrobio.2022.1.6>.
4. 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. DOI: <https://doi.org/10.31713/vs220227>.
5. Трофименко П. І. Газовий склад надґрунтового шару повітря атмосфери та його роль у формуванні обсягів емісії газів із ґрунту. *Таврійський науковий вісник*. 2018. Вип. 103. С. 227–235. URL: <https://www.tnv-agro.ksauniv.ks.ua/issue-103-2018> (дата звернення: 10.04.2026).
6. Piccolo A., Spaccini R., Drosos M., Vinci G., Cozzolino V. The Molecular Composition of Humus Carbon: Recalcitrance and Reactivity in Soils. *The Future of Soil Carbon, Its Conservation and Formation* / Editors: Garcia Carlos, Nannipieri Paolo, Hernandez Teresa. Academic Press., 2018. Edition 1st. Chapter 4. Pp. 87–124. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811687-6.00004-3>.
7. Lal R., Mohtar R. H., Assi

A. T., Ray R., Baybil H., Lahn M. Soil as a Basic Nexus Tool: Soils at the Center of the Food–Energy–Water Nexus. *Curr Sustainable Renewable Energy*. 2017. Rep. 4. P. 117–129. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40518-017-0082-4>

8. Мірошніченко М. М. Динаміка емісії CO₂ за різних способів обробітку ґрунту. *Агрохімія і ґрунтознавство*. 2011. № 74. С. 1–5.

9. Снітинський В. В., Габриєль А. Й., Оліфір Ю. М., Германович О. М. Гумусний стан та емісія діоксиду вуглецю в агроєкосистемах. *Агроєкологічний журнал*. 2015. № 1. С. 53–58.

10. Галицька М. А., Писаренко П. В., Кулик М. А. Гуміфікаційно-мінералізаційні процеси як показник акумуляції карбону в ґрунтах. *Таврійський науковий вісник*. 2018. Вип. 2. С. 130–136.

11. 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: <https://doi.org/10.31548/dopovid2020.02>

12. 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. DOI: <https://doi.org/10.31073/acss90>

13. Трофименко П. І., Трофименко Н. В. Інтенсивність емісії CO₂ з ґрунтів Полісся під час вегетації культур та домінантність зумовлюючих її чинників. *Меліорація і водне господарство*. 2018. № 1. Т. 107. С. 47–54. DOI: <https://doi.org/10.31073/mivg201801-120>

14. Тараріко О. Г., Ільєнко Т. В., Кучма Т. Л. Формування сталих систем землекористування та охорони ґрунтів: актуальність та проблеми у сучасних умовах. *Український географічний журнал*. 2016. № 3. С. 56–60. DOI: <https://doi.org/10.15407/ugz2016.03.056>

15. Мазур Г. А., Польовий В. М., Лаврук М. М. Вплив вапнування і тривалого удобрення на врожайність культур сівозміни в умовах західного Полісся. *Науковий вісник Національного аграрного університету*. 2005. Вип. 91. С. 60–65.

16. 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. P. 18. DOI: <https://doi.org/10.1186/s13021-021-00181-8>

17. Lal R. Sequestering atmospheric carbon dioxide. *Critical Reviews in Plant Science*. 2009. Vol. 28. Issue 3. P. 90–96. DOI: <https://doi.org/10.1080/0735268090278271>

18. Ontl T. A., Schulte L. A. Soil Carbon Storage. *Nature Education Knowledge*. 2012. Vol. 3(10). 35 p. URL: <https://www.nature.com/scitable/knowledge/library/soil-carbon-storage-84223790/> (дата звернення: 10.04.2026).

19. Трофименко П., Трофименко Н., Веремеєнко С., Борисов Ф. Методологія визначення інтенсивності дихання ґрунтів та емісійні втрати вуглецю агроландшафтами Лівобережного Полісся наприкінці періоду вегетації рослин. *Вісник Львівського національного аграрного університету. Сер. Агрономія*. 2019. Вип. 23. С. 238–243. DOI: <https://doi.org/10.31734/agronomy2019.01.238>

20. Греков В. О., Дацько Л. В. Розрахунок балансу гумусу. *Посібник українського хлібороба*. К., 2008. С. 202–203.

21. Балюк С. А., Греков В. О., Лісовий М. В., Комариста А. В. Розрахунок балансу гумусу і поживних речовин у землеробстві України на різних рівнях управління. Харків : КП «Міська друкарня», 2011. 30 с.

REFERENCES:

1. Baliuk S. A., Medvediev V. V., Kucher A. V., Solovei V. B., Levin A. Ya., Kolmaz Yu. T.

Upravlinnia orhanichnym vuhletsem gruntu v konteksti prodovolchoi bezpeky y zmin klimatu. *Visnyk ahrarnoi nauky*. 2017. № 9. S. 11–18. DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk201709-02>. **2.** Baliuk S. A., Kucher A. V. Prostorovi osoblyvosti gruntovoho pokryvu yak osnova staloho upravlinnia gruntamy. *Ukrainskyi heohrafichnyi zhurnal*. 2019. № 3. S. 3–14. DOI: <https://doi.org/10.15407/ugz2019.03.003>. **3.** Havryliuk V. A., Melymuka R. Ya. Emisiia vuhlekysloho hazu ta mikrobiolohichna aktyvnist gruntiv za riznoho silskohospodarskoho pryznachennia v umovakh Zakhidnoho Polissia. *Visnyk Sumskoho natsionalnoho ahrarnoho universytetu. Ser. Ahronomiia i biolohiia*. 2022. № 1. T. 47. S. 42–47. DOI: <https://doi.org/10.32845/agrobio.2022.1.6>. **4.** 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. DOI: <https://doi.org/10.31713/vs220227>. **5.** Trofymenko P. I. Hazovyi sklad nadgruntovoho sharu povitria atmosfery ta yoho rol u formuvanni obsiahiv emisii haziv iz gruntu. *Tavriiskyi naukovyi visnyk*. 2018. Vyp. 103. S. 227–235. URL: <https://www.tnv-agro.ksauniv.ks.ua/issue-103-2018> (data zvernennia: 10.04.2026). **6.** Piccolo A., Spaccini R., Drosos M., Vinci G., Cozzolino V. The Molecular Composition of Humus Carbon: Recalcitrance and Reactivity in Soils. *The Future of Soil Carbon, Its Conservation and Formation* / Editors: Garcia Carlos, Nannipieri Paolo, Hernandez Teresa. Academic Press., 2018. Edition 1st. Chapter 4. Pp. 87–124. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811687-6.00004-3>. **7.** Lal R., Mohtar R. H., Assi A. T., Ray R., Baybil H., Lahn M. Soil as a Basic Nexus Tool: Soils at the Center of the Food–Energy–Water Nexus. *Curr Sustainable Renewable Energy*. 2017. Rep. 4. P. 117–129. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40518-017-0082-4>. **8.** Miroshnychenko M. M. Dynamika emisii SO₂ za riznykh sposobiv obrobittu gruntu. *Ahrokhimiia i gruntoznavstvo*. 2011. № 74. S. 1–5. **9.** Snitynskyi V. V., Habryiel A. Y., Olifir Yu. M., Hermanovych O. M. Humusnyi stan ta emisiia dioksydu vuhletsu v ahroekosystemakh. *Ahroekolohichni zhurnal*. 2015. № 1. S. 53–58. **10.** Halytska M. A., Pysarenko P. V., Kulyk M. A. Humifikatsiino-mineralizatsiini protsesy yak pokaznyk akumulatsii karbonu v gruntakh. *Tavriiskyi naukovyi visnyk*. 2018. Vyp. 2. S. 130–136. **11.** Tkachuk V. P., Trofymenko P. I. Vmist humusu za riznoho vykorystannia dernovo-pidzolystoho supishchanoho gruntu ta obsiahy emisiinykh vtrat SO₂. *Naukovi dopovidi NUBiP Ukrainy*. 2020. № 2 (84). DOI: <https://doi.org/10.31548/dopovidi2020.02>. **12.** Popirnyi M. A., Siabruk O. P., Akimova R. V., Shevchenko M. V. Novitni inteohratyvni metody doslidzhennia stabilizatsii orhanichnoho vuhletsu za riznoho obrobittu gruntu. *Ahrokhimiia i gruntoznavstvo*. 2020. № 90. S. 13–28. DOI: <https://doi.org/10.31073/acss90>. **13.** Trofymenko P. I., Trofymenko N. V. Intensyvniat emisii SO₂ z gruntiv Polissia pid chas vehetatsii kultur ta dominantnist zumovliuiuchykh yii chynnykiv. *Melioratsiia i vodne hospodarstvo*. 2018. № 1. T. 107. S. 47–54. DOI: <https://doi.org/10.31073/mivg201801-120>. **14.** Tarariko O. H., Iliencko T. V., Kuchma T. L. Formuvannia stalych system zemlekorystuvannia ta okhorony gruntiv: aktualnist ta problemy u suchasnykh umovakh. *Ukrainskyi heohrafichnyi zhurnal*. 2016. № 3. S. 56–60. DOI: <https://doi.org/10.15407/ugz2016.03.056>. **15.** Mazur H. A., Polovyi V. M., Lavruk M. M. Vplyv vapnuvannia i tryvalooho udobrennia na vrozhaunist kultur sivozminy v umovakh zakhidnoho Polissia. *Naukovyi visnyk Natsionalnoho ahrarnoho universytetu*. 2005. Vyp. 91. S. 60–65. **16.** 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. P. 18. DOI: <https://doi.org/10.1186/s13021-021-00181-8>. **17.** Lal R.

Sequestering atmospheric carbon dioxide. *Critical Reviews in Plant Science*. 2009. Vol. 28. Issue 3. P. 90–96. DOI: <https://doi.org/10.1080/0735268090278271>. **18.** Ontl T. A., Schulte L. A. Soil Carbon Storage. *Nature Education Knowledge*. 2012. Vol. 3(10). 35 p. URL: <https://www.nature.com/scitable/knowledge/library/soil-carbon-storage-84223790/> (дата звернення: 10.04.2026). **19.** Trofymenko P., Trofymenko N., Veremeienko S., Borysov F. Metodolohiia vyznachennia intensyvnosti dykhannia gruntiv ta emisiini vtraty vuhletsu ahrolandshaftamy Livoberezhnoho Polissia naprykintsi periodu vehetatsii rosllyn. *Visnyk Lvivskoho natsionalnoho ahrarnoho universytetu. Ser. Ahronomiia*. 2019. Vyp. 23. S. 238–243. DOI: <https://doi.org/10.31734/agronomy2019.01.238>. **20.** Hrekov V. O., Datsko L. V. Rozrakhunok balansu humusu. *Posibnyk ukrainskoho khliboroba*. K., 2008. S. 202–203. **21.** Baliuk S. A., Hrekov V. O., Lisovyi M. V., Komarysta A. V. Rozrakhunok balansu humusu i pozhyvnykh rehovyn u zemlerobstvi Ukrainy na riznykh rivniakh upravlinnia. Kharkiv : KP «Miska drukarnia», 2011. 30 s.

Yashchenko L. A. [1; ORCID ID: 0000-0003-1407-0133],

Candidate of Agricultural Sciences (Ph.D.), Associate Professor,

Kurach O. V. [2; ORCID ID: 0000-0002-1343-097X],

Candidate of Agricultural Sciences (Ph.D.), Senior Research Fellow,

Head of the Department of Plant Production,

Rovna H. M. [2; ORCID ID: 0000-0002-7599-5650],

Senior Research Fellow,

Huk B. V. [2; ORCID ID: 0000-0002-8666-2667],

Senior Research Fellow

¹*National University of Water and Environmental Engineering, Rivne*

²*Institute of Agriculture of Western Polissia of the NAAS of Ukraine, Shubkiv, Rivne Raion, Rivne Oblast*

CYCLE OF CARBON DIOXIDE IN SOD-PODZOLIC SOIL UNDER DIFFERENT FERTILIZATION RATES AGAINST THE BACKGROUND OF CHEMICAL RECLAMATION

The conducted research established the complex influence of various fertilizer rates and chemical amelioration on the carbon dioxide balance, humus formation processes, and sunflower productivity on sod-podzolic soil. It was determined that the systematic incorporation of by-products, root residues, and aboveground plant remains significantly contributed to the accumulation of plant biomass, which ranged from 4.28 to 9.34 t/ha depending on the specific fertilization system. The lowest indicator of

biomass accumulation (4.28 t/ha) was observed in the control treatment without fertilizers. In contrast, the highest values (8.59–9.34 t/ha and 8.71 t/ha) were achieved under the application of mineral fertilizers calculated by the normative method for both main and by-products, combined with $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ and micronutrients.

The intensity of humus formation from plant residues varied from 0.60 to 1.31 t/ha, directly correlating with fertilization and liming practices. The maximum humus accumulation (1.31 and 1.22 t/ha) was recorded under the normative fertilization method and the recommended fertilizer rate combined with chemical amelioration. Concurrently, the mineralization intensity of plant biomass ranged from 4.66 to 8.03 t/ha, exceeding the control by 1.3–2.2 times. This indicates enhanced biological activity and a high potential for crop productivity within the agrocenosis.

Research results demonstrated that CO_2 emissions generated from biomass mineralization reached their peak under normative fertilization against the background of dolomite application. Under these treatments, CO_2 input into the soil reached 13.2 and 12.4 t/ha, exceeding the control by 104–117%. The amount of carbon dioxide removed with the main yield was also highest under these systems (4.85 and 4.50 t/ha vs. 2.08 t/ha in the control). A very strong direct relationship between sunflower productivity and CO_2 accumulation by plants was established ($R^2 = 0.99$). The combined application of mineral fertilizers and ameliorants increased humus content by 0.16–0.17% compared to the control.

Humus mineralization varied from 2.23 to 2.46 t/ha, while CO_2 accumulation in the soil reached 4.26–5.29 t/ha. The study confirmed that while irrational land use leads to organic matter loss and greenhouse gas emissions, the incorporation of sunflower residues with balanced fertilization ensures a non-deficit CO_2 balance (0.29–1.53 t/ha). Economic assessment showed that the normative fertilizer system combined with chemical amelioration yielded the highest ecological and economic effect of 99.5 USD/ha, confirming the vital role of carbon sequestration in mitigating global warming and improving soil fertility.

Keywords: sunflower; fertilizer rates; chemical amelioration; organic carbon; balance.

Отримано / Received: 01.05.2026
Прийнято до друку / Accepted: 27.05.2026
Опубліковано / Published: 29.05.2026

