


## АГРОНОМІЯ

УДК 631.95:631.8/821.1:633.853.494(447.81)

**Моніторинг емісійних потоків CO<sub>2</sub> та балансу С органічного у провапнованому дерново-підзолистому ґрунті у полі ріпаку озимого**Польовий В.М. , Ященко Л.А. , Ровна Г.Ф. , Гук Б.В. *Інститут сільського господарства Західного Полісся НААН України* rivne\_apv@ukr.net

Польовий В.М., Ященко Л.А., Ровна Г.Ф., Гук Б.В. Моніторинг емісійних потоків CO<sub>2</sub> та балансу С органічного у провапнованому дерново-підзолистому ґрунті у полі ріпаку озимого. «Агробіологія», 2024. № 1. С. 131–139.

Polovyi V., Yashchenko L., Rovna G., Huk B. Monitoring of CO<sub>2</sub> emission fluxes and organic C balance in limed sod-podzolic soil in winter rapeseed field. «Agrobiologia», 2024. no. 1, pp. 131–139.

Рукопис отримано: 29.03.2024 р.

Прийнято: 15.04.2024 р.

Затверджено до друку: 24.05.2024 р.

doi: 10.33245/2310-9270-2024-187-1-131-139

Управління процесами секвестрації вуглецю є одним із основних питань у подоланні деградації органічної речовини ґрунтів в Поліській зоні, особливо з урахуванням змін клімату. Існує необхідність дослідження і розроблення заходів щодо зниження непродуктивних втрат CO<sub>2</sub> з ґрунту, що сприятиме стабілізації вмісту органічного вуглецю в ґрунті за інтенсивного землеробства.

Метою роботи було встановити особливості формування емісійних потоків CO<sub>2</sub> і балансу органічного вуглецю у дерново-підзолистому ґрунті у середньому за роки вирощування ріпаку озимого у короткоротаційній сівозміні за різних доз меліорантів і удобрення. Методи досліджень: польовий дослід, лабораторний, розрахунковий і статистичний аналіз. За результатами досліджень встановлено, що впродовж весняно-літнього періоду за вирощування ріпаку озимого у сівозміні найвищі непродуктивні втрати CO<sub>2</sub> із ґрунту прослідковуються у варіанті без добрив. Найістотніші зниження середньодобових емісійних потоків CO<sub>2</sub> з ґрунту та непродуктивних втрат діоксиду карбону спостерігали за внесення 1,5 дози СаMg(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> на фоні N<sub>120</sub>P<sub>90</sub>K<sub>120</sub> до 218,5 кг/га і 3,64 кг/га/год відповідно. Поліпшення умов вирощування у зазначеному варіанті сприяє підвищеній акумуляції CO<sub>2</sub> в біомасі ріпаку озимого і відповідно зростанню частки рослинних решток за їх заорювання у ґрунт до 62,8 % від загальних викидів діоксиду вуглецю в атмосферу. З урахуванням частки участі добрив і доломітового борошна, частка від мінералізації гумусу знизилася до 22,6 %. Встановлено, що застосування 1,5 дози СаMg(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> на фоні рекомендованої дози удобрення із зароблянням у ґрунт побічної продукції стабілізує баланс органічного вуглецю на рівні 0,05 т/га.

**Ключові слова:** ріпак озимий, емісія CO<sub>2</sub>, хімічна меліорація, удобрення, баланс органічного вуглецю.

**Постановка проблеми та аналіз останніх досліджень.** Проблема збереження та підвищення природної родючості ґрунтів є базовою як за оцінювання рівня живлення сільськогосподарських культур зокрема, так і за аналізу використання земель сільськогосподарського призначення загалом. В цій проблемі важливе значення займає питання балансу гумусу як основного критерію екологічної стійкості землеробства [1].

Одним із основних показників родючості ґрунту є вміст гумусу, який забезпечує стійкість ґрунту до різноманітних проявів деградації і виснаження, переущільнення, забруднення та погіршення біологічної активності [2]. Зміни інтенсивності діоксиду вуглецю під час вегетації рослин залежать від типу ґрунту, сільськогосподарської культури, температури ґрунту та повітря, вологи, а також концентрації CO<sub>2</sub>. Зростання концентрації CO<sub>2</sub> призводить до підвищення глобальної температури повітря [3]. Небезпечний вплив підвищення CO<sub>2</sub> та температури в атмосфері у перспективі підсилуватиметься внаслідок збільшення його емісії через дефіцит вологи в ґрунтах [4, 5].

Органічний карбон є основною складовою гумусу, а його обмін є показником екологічної рівноваги для ґрунтів з високим техногенним навантаженням. Процес накопичення карбону відбувається за розкладання фітомаси, а розкладання органічних сполук проходить під час мінералізації з виділенням  $\text{CO}_2$  в атмосферу [6].

Порушення кругообігу речовин в агроєко-системах, зокрема вуглецю, є властивим явищем перехідного періоду економічних відносин, коли стан ґрунту погіршується внаслідок недотримання основного екологічного закону агрохімії, згідно з яким винос поживних речовин із ґрунту необхідно компенсувати внесенням екологічно та економічно обґрунтованих доз добрив.

Зростання інтенсивності виділення  $\text{CO}_2$  за високої кислотності ґрунтового розчину свідчить про активний перебіг процесів мінералізації органічної речовини, в якій відбувається переважне нагромадження менш цінних для ґрунтової родючості «агресивних» фульвокислот, що здатні до швидкої мінералізації та вимивання в умовах промивного водного режиму [7].

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 [8]. Дихання ґрунту є причиною втрати вуглецю, який переважно сконцентрований в органічній речовині. Втрата карбону через нераціональне використання орних ґрунтів перетворює агроєко-системи на потужне джерело парникового газу – діоксиду карбону [9]. Порушення ґрунтового дихання призводить до зміни вмісту  $\text{CO}_2$  у приземних шарах атмосфери. Діоксид атмосфери приблизно на 80–90 % має ґрунтове походження, серед потоків  $\text{CO}_2$ , що надходять до атмосфери, емісія з поверхні ґрунтів є однією з найпотужніших [10, 11].

Підвищення акумуляції органічної речовини в ґрунті можливе за впровадження науково обґрунтованих екологічно збалансованих сівозмін. Важливим резервом стабілізації гумусного стану є надходження органічних речовин завдяки побічній продукції сільськогосподарських культур, а також проведення хімічної меліорації кислих ґрунтів. 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 [12]. 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 [13].

Швидкість розкладання органічних матеріалів пропорційна кількості органічної речовини в ґрунті. Потік  $\text{CO}_2$  із ґрунту є результатом дихання коренів і фізіологічних процесів мікроорганізмів, які беруть участь у розкладанні органічного матеріалу [14]. Викиди  $\text{CO}_2$  із ґрунтів сильно варіюють у гетерогенних ґрунтових мікронах, і на них впливають активність коренів, мікробні процеси, рослинні залишки та вміст підстилки, мікроклімат і каталітичні властивості глинистих колоїдів [15]. 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 агроєко-систем [16–18].

На сьогодні недостатньо досліджень щодо управління органічним вуглецем в Поліській зоні, особливо з урахуванням змін клімату, тому існує необхідність розроблення заходів щодо його секвестрації в низькородючих ґрунтах. Секвестрація вуглецю в ґрунті і продукування  $\text{CO}_2$  залежить від запасів гумусу, оскільки він в середньому містить 58 % органічного вуглецю [19]. Управління процесами секвестрації вуглецю є основним в розв'язанні подолання деградації ґрунтів. Актуальність наших досліджень пов'язана з необхідністю пошуку способів для накопичення органічного вуглецю в ґрунті, що сприятиме зменшенню викидів парникових газів в атмосферу, збільшенню вмісту гумусу та збереженню його родючості. Тому питання біологічного циклу  $\text{CO}_2$  під впливом удобрення на фоні хімічної меліорації і побічної продукції в умовах Західного Полісся потребує глибокого аналізування.

**Мета досліджень** – встановити особливості емісії діоксиду карбону з дерново-підзолистого ґрунту та визначити баланс органічного вуглецю за вирощування ріпаку озимого за різних доз і видів меліорантів та удобрення.

**Матеріал і методи дослідження.** Польовий дослід проведений у 2012–2019 рр. на дерново-підзолистому ґрунті у Інституті сільськогосподарства Західного Полісся. Дослідження, результати яких наведено у статті, виконані у полях ріпаку озимого у сівозміні з наступним чергуванням культур: пшениця озима, кукурудза на зерно, ячмінь ярий, ріпак озимий. Технологія вирощування ріпаку озимого загальноприйнята для зони Полісся.

Дослід проводили за схемою: 1) без добрив (контроль); 2)  $N_{120}P_{90}K_{120}$  (рекомендована доза) – фон; 3) фон +  $CaMg(CO_3)_2$  (0,5 Нг); 4) фон +  $CaMg(CO_3)_2$  (1,0Нг); 5) фон +  $CaMg(CO_3)_2$  (1,5Нг); 6) фон +  $CaCO_3$  (1,0 Нг).

Мінеральні добрива вносили згідно зі схемою дослід у формі аміачної селітри, амофосу, калію хлористого. Хімічні меліоранти, доломітове ( $CaMg(CO_3)_2$ ) і вапнякове ( $CaCO_3$ ) борошно, були внесені перед закладанням дослід у дозі встановленій за рівнем гідролітичної кислотності досліджуваного ґрунту.

Моніторинг емісії  $CO_2$  з ґрунту здійснювали в польових та лабораторних умовах у основні фази росту і розвитку ріпаку озимого. Для вимірювання продукування діоксиду вуглецю ґрунтом використовували польовий метод абсорбції  $CO_2$  у модифікації Б. Н. Макарова. Зразки ґрунту відбирали і готували за ДСТУ 4287:2004, лабораторне визначення кількості  $CO_2$  виділеного з ґрунту проводили методом титрування після лужної абсорбції.

#### Результати дослідження та обговорення.

Динаміка балансу  $CO_2$  в ґрунтах величина динамічна і залежить від способу та інтенсивності їх використання, антропогенного навантаження, системи удобрення, меліорації, а також від вологості, температури ґрунту.

Попередні спостереження показали, що зміна емісійної активності впродовж вегетаційного періоду пов'язана насамперед зі зміною водного і температурного режимів ґрунту. Найменше виділення мг  $CO_2$ /кг ґрунту/добу спостерігалось за високої вологості і низької

температури, а також навпаки за високої температури повітря [20].

Інтенсивність емісії  $CO_2$  з одиниці площі змінювалась у полі ріпаку озимого за вегетаційний період у всіх варіантах дослід (табл. 1). Рівень емісії  $CO_2$  із ґрунту у фазу утворення весняної розетки ріпаку озимого перебував в інтервалі 204,8–290 кг/га/добу. Найвищі показники втрати діоксиду карбону 286,2 і 290 кг/га за добу відмічені за внесення 0,5 дози Нг  $CaMg(CO_3)_2$  і 1,0 дози Нг  $CaCO_3$  на фоні рекомендованої дози удобрення, які зросли порівняно з фоном  $N_{120}P_{90}K_{120}$  і контролем на 7,2–8,6 і 39,7–41,6 % відповідно.

У фазу бутонізації рослин зниження вологості ґрунту до 8,3–10,8 мм зумовило зниження емісійних потоків  $CO_2$  на удобрених варіантах на 7,2–30,8 % до показників попередньої фази. У фазу цвітіння за продуктивної вологи 11,3–14,6 мм максимальне підвищення емісійних потоків  $CO_2$  з одиниці площі за добу відзначено у варіантах із 0,5 і 1,0 дозою Нг  $CaMg(CO_3)_2$  та 1,0 дозою Нг  $CaCO_3$  на 5,6–26,8 % порівняно з фазою бутонізації. Найнижча інтенсивність емісії  $CO_2$  222 кг/га/добу була у варіанті 1,5 дози Нг  $CaMg(CO_3)_2$  на фоні  $N_{120}P_{90}K_{120}$ . У фазу утворення стручків розподіл інтенсивності емісії діоксиду карбону відповідав тенденції попередньої фази. У фазу технічної стиглості за дуже низької вологості ґрунту 5,5–9,3 мм емісійні потоки  $CO_2$  з ґрунту були найнижчими – 132,7–170,5 кг/га за добу і зменшились у 1,2–2,2 рази до показників у фазу утворення стручків.

Таблиця 1 – Динаміка виділення  $CO_2$  за добу з провапнованого дерново-підзолистого ґрунту у полі ріпаку озимого, кг/га (середнє за 2012–2019 рр.)

| Варіант                       | Фаза росту і розвитку      |             |          |                    |                    | Обсяг середньодобових викидів $CO_2$ за весняно-літній період |
|-------------------------------|----------------------------|-------------|----------|--------------------|--------------------|---------------------------------------------------------------|
|                               | утворення весняної розетки | бутонізація | цвітіння | утворення стручків | технічна стиглість |                                                               |
| Без добрив – контроль         | 204,8                      | 240,9       | 232,5    | 256,7              | 147,2              | 216,4                                                         |
| $N_{120}P_{90}K_{120}$ – фон  | 266,9                      | 249,0       | 235,6    | 281,2              | 170,5              | 240,6                                                         |
| Фон + $CaMg(CO_3)_2$ (0,5 Нг) | 286,2                      | 192,7       | 244,4    | 284,9              | 144,8              | 230,6                                                         |
| Фон + $CaMg(CO_3)_2$ (1,0 Нг) | 264,2                      | 202,0       | 245,1    | 287,3              | 152,2              | 230,2                                                         |
| Фон + $CaMg(CO_3)_2$ (1,5 Нг) | 257,0                      | 225,7       | 222,0    | 255,0              | 132,7              | 218,5                                                         |
| Фон + $CaCO_3$ (1,0 Нг)       | 290,0                      | 242,4       | 255,9    | 286,7              | 146,5              | 244,3                                                         |
| $НП_{05}$                     | 11,3                       | 13,4        | 12,1     | 11,6               | 10,8               | 12,5                                                          |

За роки досліджень найвищий середньодобовий обсяг викидів  $\text{CO}_2$  із ґрунту за весняно-літній період вегетації 244,3 кг/га і 26,9 т/га відповідно був за внесення  $\text{CaCO}_3$  на фоні рекомендованої дози удобрення, що частково пов'язано із вмістом карбонатів у вапняковому борошні. Найнижчий обсяг за вказаний період був у варіантах без добрив – 23,8 т/га і за 1,5 дози Нг  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$  на фоні – 24,0 т/га (табл. 2).

Розрахунковим методом визначено, що найвищий 14,4 т/га показник продуктивних витрат  $\text{CO}_2$  на фотосинтез рослинами був у варіанті 1,5 дози Нг  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$  на фоні  $\text{N}_{120}\text{P}_{90}\text{K}_{120}$ , тимчасом на контролі (без добрив) був нижчим на 32,7 %, що пов'язано із продуктивністю культури. Водночас виявлено зростання емісійних потоків діоксиду карбону з ґрунту в атмосферу на 36,4 і 32,3 % у варіантах без добрив (контроль) і  $\text{N}_{120}\text{P}_{90}\text{K}_{120}$  до показників із 1,5 дозою Нг  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ . У результаті цього найнижчі непродуктивні втрати діоксиду карбону за весняно-літній період 3,64 і 4,20 кг/га/год були за внесення 1,5 і 1,0 дози Нг  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$  на фоні  $\text{N}_{120}\text{P}_{90}\text{K}_{120}$ , тимчасом у контролі вищі на 36,3 і 18,0 % відповідно.

Поліпшення умов живлення ріпаку озимого за проведення вапнування та удобрення забезпечило більше надходження органічної речовини в ґрунт завдяки заорюванню зростаючої маси побічної продукції. Акумуляція  $\text{CO}_2$  в біомасі ріпаку озимого залежала від доз хімічних меліорантів і удобрення (рис. 1). Найменше у середньому за роки вирощування ріпаку у сівозміні засвоєно  $\text{CO}_2$  біомасою ріпаку на контролі (без добрив) – 4,95 т/га, тимчасом на провапнованих варіантах на фоні рекомендованої дози удобрення цей показник зростає у 2,0–2,6 рази, що є результатом вищої продуктивності культури. Завдяки збільшенню врожайності під час

застосування хімічних меліорантів і удобрення збільшується вихід соломи та пожнивно-кореневих решток, що сприяє більшій акумуляції  $\text{CO}_2$  рослинами. Внесення 1,5 дози  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$  із заробкою побічної продукції на фоні рекомендованої дози  $\text{N}_{120}\text{P}_{90}\text{K}_{120}$  обумовило найбільшу кількість (13,0 т/га) акумуляованого діоксиду карбону надземною масою рослин за показника на фоні удобрення 10,1 т/га.

Для відшкодування втрат гумусу і збільшення його вмісту в ґрунті та підвищення родючості у сівозміну необхідно включати культури, в яких поряд із виходом товарної продукції в ґрунт під час заорювання надходило б більше рослинних решток. Частина рослинної органіки швидко розкладається та повертається у вигляді  $\text{CO}_2$  у атмосферу, а інша накопичується у вигляді гумусу. За ведення землеробства мінералізація гумусу також є потужним джерелом емісії  $\text{CO}_2$ , що доведено дослідженнями (рис. 2). У досліді визначено, що найбільшу частку емісії  $\text{CO}_2$  з ґрунту займає мінералізація рослинних решток – від 55,6 до 62,7 %, гумусу – від 22,6 до 44,3 %, частка від внесення азотних добрив і хімічних меліорантів становить 5,9–14,5 %.

В агроценозі короткоротаційної сівозміни із застосуванням 1,5 дози Нг  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$  на фоні удобрення і побічної продукції частка надходження  $\text{CO}_2$  від мінералізації гумусу становить 22,6 %, що є найнижчим показником за зростаючої частки участі рослинних решток до 62,8 %, добрив та меліорантів до 14,6 %. Відсутність вапнякових матеріалів у контролі та фоні зумовлює найвищу частку участі гумусу у надходженні  $\text{CO}_2$  в атмосферу – 44,4 і 30,5 % відповідно. Ці дані підтверджують, що застосування вапнякових матеріалів є чинником як підвищення продуктивності культури так і стабілізації втрат гумусу у вигляді діоксиду карбону.

Таблиця 2 – Емісійні потоки  $\text{CO}_2$  за весняно-літній період з провапнованого дерново-підзолистого ґрунту у полі ріпаку озимого (середнє за 2012–2019 рр.)

| Варіант                                           | Обсяг викидання $\text{CO}_2$ , т/га | Фотосинтез, т/га | Емісія $\text{CO}_2$ в атмосферу, т/га | Непродуктивні втрати $\text{CO}_2$ , кг/га/год |
|---------------------------------------------------|--------------------------------------|------------------|----------------------------------------|------------------------------------------------|
| Без добрив – контроль                             | 23,8                                 | 10,7             | 13,1                                   | 4,96                                           |
| $\text{N}_{120}\text{P}_{90}\text{K}_{120}$ – фон | 26,5                                 | 13,8             | 12,7                                   | 4,81                                           |
| Фон + $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ (0,5 Нг)       | 25,4                                 | 14,0             | 11,4                                   | 4,32                                           |
| Фон + $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ (1,0 Нг)       | 25,3                                 | 14,2             | 11,1                                   | 4,20                                           |
| Фон + $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ (1,5 Нг)       | 24,0                                 | 14,4             | 9,6                                    | 3,64                                           |
| Фон + $\text{CaCO}_3$ (1,0 Нг)                    | 26,9                                 | 14,0             | 12,9                                   | 4,89                                           |
| $\text{NIP}_{05}$                                 | 1,1                                  | 0,6              | 0,9                                    | 0,5                                            |



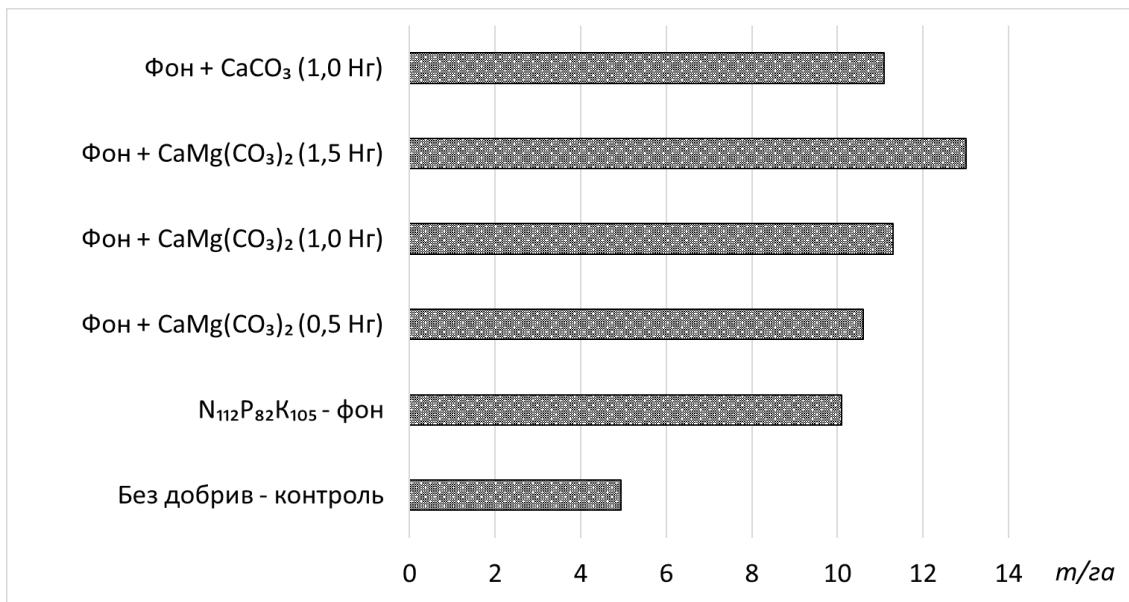
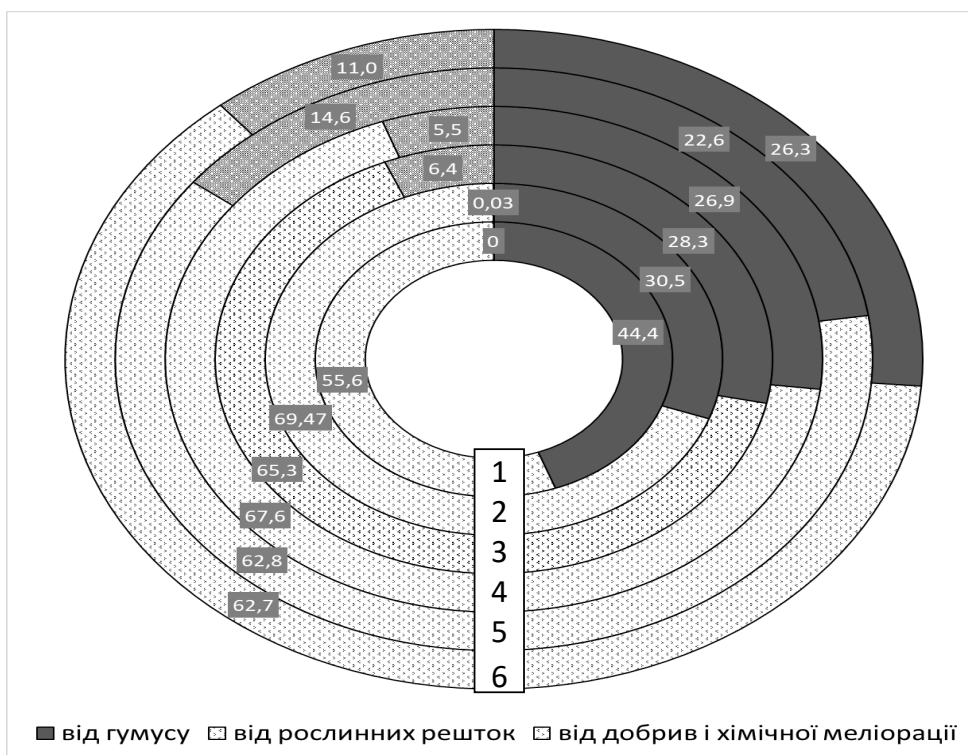


Рис. 1. Акумуляція CO<sub>2</sub> біомасою ріпаку озимого залежно від хімічної меліорації та удобрення, т/га (середнє за 2012–2019 рр.).



Примітка: 1–6 варіанти дослідів.

Рис. 2. Частка участі джерел у надходженні CO<sub>2</sub> залежно від дози і виду хімічної меліорації, %.

Таблиця 3 – Баланс органічного вуглецю провапнованого дерново-підзолистого ґрунту у полі ріпаку озимого, т/га (середнє за 2012–2019 рр.)

| Варіант                                                 | Накопичення органічного вуглецю |                       |         |        | Втрати від мінералізації органічного вуглецю | Баланс органічного вуглецю |
|---------------------------------------------------------|---------------------------------|-----------------------|---------|--------|----------------------------------------------|----------------------------|
|                                                         | зокрема із:                     |                       |         | всього |                                              |                            |
|                                                         | кореневи-ми рештками            | поверхневими рештками | соломою |        |                                              |                            |
| Без добрив – контроль                                   | 0,16                            | 0,09                  | 0,19    | 0,25   | 0,78                                         | -0,53                      |
| N <sub>120</sub> P <sub>90</sub> K <sub>120</sub> – фон | 0,20                            | 0,11                  | 0,39    | 0,7    | 0,78                                         | -0,08                      |
| Фон + CaMg(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> (0,5 Нг)      | 0,21                            | 0,12                  | 0,38    | 0,71   | 0,78                                         | -0,07                      |
| Фон + CaMg(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> (1,0 Нг)      | 0,23                            | 0,13                  | 0,39    | 0,75   | 0,78                                         | -0,03                      |
| Фон + CaMg(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> (1,5 Нг)      | 0,24                            | 0,14                  | 0,45    | 0,83   | 0,78                                         | 0,05                       |
| Фон + CaCO <sub>3</sub> (1,0 Нг)                        | 0,22                            | 0,13                  | 0,39    | 0,74   | 0,78                                         | -0,04                      |

Зміни вмісту гумусу в ґрунтах залежать від двох взаємно протилежних процесів – гуміфікації та мінералізації органічної речовини, що є наслідком інтенсивності накопичення або втрати гумусу. Для встановлення цих змін застосовують балансовий метод, який має статті надходження та відчуження органічної речовини.

У стаціонарному польовому досліді у полі ріпаку озимого за вивчення різних доз хімічних меліорантів на фоні N<sub>120</sub>P<sub>90</sub>K<sub>120</sub> встановлено, що у контролі (без добрив і побічної продукції) баланс вуглецю був найбільш дефіцитним. Ґрунт у середньому збіднювався на 0,53 т/га за рік.

Y. Wang та ін. [21] зазначають, що за проведення вапнування запаси органічного вуглецю збільшуються на 4,51 % щорічно, водночас дихання ґрунту теж стимулюється на 7,57 %.

У наших дослідженнях за удобрення N<sub>120</sub>P<sub>90</sub>K<sub>120</sub> (фон) і вапнування 1,0 дозою Нг вапнякових матеріалів, незалежно від їх виду, дефіцитне сальдо балансу органічного вуглецю порівняно з контролем теж знижувалося,

хоча все ще залишалося від’ємним -0,03 – -0,08 т/га. Лише у разі застосування 1,5 дози Нг CaMg(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> на фоні рекомендованої дози із заорюванням побічної продукції був визначений позитивний баланс вуглецю – в середньому 0,05 т/га щорічно.

**Висновки.** У результаті проведених досліджень на дерново-підзолистому ґрунті у полі ріпаку озимого встановлено, що у весняно-літній період за внесення 1,5 дози CaMg(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> на фоні N<sub>120</sub>P<sub>90</sub>K<sub>120</sub> прослідковується зниження середньодобових емісійних потоків CO<sub>2</sub> з ґрунту та непродуктивних втрат діоксиду карбону до рівня 218,5 кг/га/добу і 3,64 кг/га/год. Частка участі гумусу у викиданні CO<sub>2</sub> в атмосферу знизилася до 22,6 %, що є найнижчим показником серед досліджуваних варіантів. Відповідно виявлено, що застосування зазначеної вище системи удобрення із заорюванням побічної продукції сприяє стабілізації вмісту органічного вуглецю із середній щорічним показником балансу в ґрунті 0,05 т/га.

#### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Бутрим О.В. Формування фінансово-економічного інструменту внутрішнього вуглецевого ринку у секторі землекористування України. Агросвіт. 2018. № 4. С. 47–52. URL: <http://www.agrosvit.info/?n=4&y=2018>
2. Gerke J. The Central Role of Soil Organic Matter in Soil Fertility and Carbon Storage. Soil Systems. 2022. 6(2). 33 p. DOI: 10.3390/soilsystems6020033
3. Улько Є.М. Методологічні основи сталого управління ґрунтовими (земельними) ресурсами в умовах глобальних змін клімату. Глобалізація та розвиток інноваційних систем: тенденції, виклики, перспективи: матеріали І Міжнар. наук.-практ. конф. Харків, 2022. С. 472–474.
4. 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: <https://dspace.ksaeu.kherson.ua/handle/123456789/2470?show=full>
5. Качук В.П., Трофименко П.І. Вміст гумусу за різного використання дерново-підзолистого суцільного ґрунту та обсяги емісійних втрат CO<sub>2</sub>. Наукові доповіді НУБіП України. 2020. № 2 (84). DOI: 10.31548/dopovid2020.02.
6. Трофименко П. Диференціація профільного розподілу CO<sub>2</sub> ґрунтового повітря та оцінка стійкості системи «ґрунт – атмосфера» до абіотичних

впливів. *International Science Journal of Engineering & Agriculture*. 2024. 3(1). P. 61–74. DOI: 10.46299/j.isjea.20240301.07

7. Трофименко П.І., Трофименко Н.В., Веремєнко С.І., Борисов Ф.І. Методологія визначення інтенсивності дихання ґрунтів та емісійні втрати вуглецю агроландшафтами Лівобережного Полісся наприкінці періоду вегетації рослин. *Вісник Львівського національного аграрного університету*. 2019. № 23. С. 238–243.

8. Li M., Peng J., Lu Z., Zhu P. Research progress on carbon sources and sinks of farmland ecosystems. *Resources, Environment and Sustainability*. 2023. No 11. 100099. DOI: 10.1016/j.resenv.2022.100099

9. Хумаров О.А. Формування інституційного забезпечення розподілу квот парникових газів. *Зб. наук. праць Економічні інновації. Інститут проблем ринку та економіко-екологічних досліджень НАН України*. Одеса, 2016. Вип. 61. С. 358–367. URL: <http://dspace.nbuv.gov.ua/bitstream/handle/123456789/79164/41-Khumarov.pdf?sequence=1>

10. Демиденко О., Шаповал О., Величко В., Бойко П. Колообіг органічного вуглецю в агроценозах різноротаційних сівозмін. *Вісник аграрної науки*. 2015. Т. 93. № 3. С. 56–62. DOI: 10.31073/agroviznyk201503-11

11. Хумаров О.А. Теоретичні основи формування внутрішнього вуглецевого ринку в Україні. *Соціально-економічні проблеми сучасного періоду України*. 2015. Вип. 1. С. 86–91. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/sepspu\\_2015\\_1\\_18](http://nbuv.gov.ua/UJRN/sepspu_2015_1_18).

12. Yang Y., Tilman D. Soil and root carbon storage is key to climate benefits of bioenergy crops. *Biofuel Research Journal*. 2020. 7(2). P. 1143–1148. DOI: 10.18331/BRJ2020.7.2.2

13. Трофименко П.І., Іванік О.М., Трофименко Н.В. Методологія моніторингу CO<sub>2</sub> в системі «ґрунт-атмосфера-рослина» та добовий біологічний колообіг вуглецю ґрунтів агроландшафтів Полісся України. *Таврійський науковий вісник*. 2020. № 110. Ч. 2. С. 231–244. DOI: 10.32851/2226-0099.2019.110-2.30

14. Muñoz C., Paulino L., Monreal C., Zagal E. Greenhouse gas (CO<sub>2</sub> and N<sub>2</sub>O) emissions from soils: a review. *Chilean journal of agricultural research*. 2010. No 70(3). P. 485–497. URL: <https://pdfs.semanticscholar.org/a338/b0c47b6bf21b29b39b-24833b384ace7a1d38.pdf>

15. Soil respiration in beech and spruce forest in Europe: trends, controlling factors, annual budgets and implications for the ecosystem carbon balance / G. Matteucci et al. *Carbon and nitrogen cycling in European forest ecosystems*. Springer Verlag, Berlin, Germany, 2000. P. 217–236. DOI: 10.1007/978-3-642-57219-7\_10.

16. Демиденко О.В. Порівняльна ефективність короткоротаційних сівозмін за секвестраційною здатністю та агроенергетичною продуктивністю. *Вісник аграрної науки*. 2022. № 8 (833). DOI: 10.31073/agroviznyk202208-02

17. Wilson L., New S., Daron J., Golding N. *Climate Change Impacts for Ukraine*. Met Office, 2021. 34 p. URL: [https://www.metoffice.gov.uk](https://www.metoffice.gov.uk/binaries/content/assets/metofficegovuk/pdf/services/government/met-office_climate-change-impacts-for-ukraine_report_08dec2021_english.pdf)

[binaries/content/assets/metofficegovuk/pdf/services/government/met-office\\_climate-change-impacts-for-ukraine\\_report\\_08dec2021\\_english.pdf](https://www.metoffice.gov.uk/binaries/content/assets/metofficegovuk/pdf/services/government/met-office_climate-change-impacts-for-ukraine_report_08dec2021_english.pdf)

18. CO<sub>2</sub> emission and short-term soil pore class distribution after tillage operations / Bruna de Oliveira Silva et al. *Soil and Tillage Research*. 2019. 186. P. 224–232. DOI: 10.1016/j.still.2018.10.019

19. Обґрунтування підходів і стратегічних напрямів щодо секвестрації й збільшення органічного вуглецю в ґрунтах зони Полісся / С.М. Рижук та ін. *Вісник аграрної науки*. 2022. № 5 (830). С. 20–32. DOI: 10.31073/agroviznyk202205-04.

20. Польовий В.М., Ященко Л.А., Ровна Г.Ф., Гук Б.В. Інтенсивність емісії CO<sub>2</sub> з дерново-підзолитого ґрунту за різних доз меліорантів і удобрення ріпаку озимого у Західному Поліссі. *Збірник наукових праць «Агробіологія»*, 2022. № 1. С. 36–42. DOI: 10.33245/2310-9270-2022-171-1-36-42

21. Potential benefits of liming to acid soils on climate change mitigation and food security / Y. Wang et al. *Global Change Biology*. 2021. 27(12). P. 2807–2821. DOI: 10.1111/gcb.15607

## REFERENCES

1. Butrym, O.V. (2018). Formuvannia finansovo-ekonomichnoho instrumentu vnutrishnoho vuhleysevoho rynku u sektori zemlekorystyvvannia Ukrainy [Formation of the financial and economic instrument of the internal carbon market in the sector of land use of Ukraine]. *Agrosvit*, no. 4, pp. 47–52. Available at: <http://www.agrosvit.info/?n=4&y=2018>

2. Gerke, J. (2022). The Central Role of Soil Organic Matter in Soil Fertility and Carbon Storage. *Soil Systems*. Vol. 6(2), 33 p. DOI: 10.3390/soilsystems6020033

3. Ulko, E.M. (2022). Metodolohichni jsnovy staloho upravlinnia gryntovymy (zemelnymy) recursamy v umovah hlobalnyh zmin klimaty. Hlobalizatsia ta rozvytok innovatsiynyh system: tendentsii, vyklyky, perspektivy: materily I Mizhnarod. nauk.-practyk. konfer. [Methodological Foundations of Sustainable Management of Soil (Land) Resources in the Context of Global Climate Change. Globalization and Development of Innovation Systems: Trends, Challenges, Prospects: materials of the I International. Scientific and Practical Conf.]. Kharkiv, pp. 472–474.

4. Halytska, M.A., Pysarenko, P.V., Kulyk, M.A. (2018). Humifikatsiyno-mineralizatsiyni protsesy yak pokaznyk nakopychennya karbonu v obgruntakh [Humification-Mineralization Processes as an Indicator of Carbon Accumulation in Soils]. *Tavriyskyy naukovyy visnyk. Silskohospodarski nauky [Tavria Scientific Bulletin. Agricultural Sciences]*. Issue 102, pp. 130–136. Available at: <https://dspace.ksaeu.kherson.ua/handle/123456789/2470?show=full>

5. Tkachuk, V.P., Trofymenko, P.I. (2020). Vmist humusu za riznoho vykorystannya dernovo-pidzolysoho supishchanoho obgruntuvannya ta obsyahu emisiynykh vtrat CO<sub>2</sub> [Humus content under different use of sod-podzolic sandy loam soil and volumes of CO<sub>2</sub> emission losses]. *Naukovi dopovidi NUBiP Ukrayiny [Scientific reports of the National University of Life*

and Environmental Sciences of Ukraine]. no. 2 (84). DOI: 10.31548/dopovidi2020.02.

6. Trofymenko, P. (2024). Dyferentsiatsiya profilnoho rozpodilu CO<sub>2</sub> gruntovoho povitrya ta otsinka stiykosti systemy «grunt – atmosfera» do abiotychnykh vplyviv [Differentiation of the profile distribution of CO<sub>2</sub> of the soil air and assessment of the stability of the "soil – atmosphere" system to abiotic influences]. *International Science Journal of Engineering & Agriculture*. Vol. 3(1), pp. 61–74. DOI: 10.46299/j.is-jea.20240301.07

7. Trofymenko, P.I., Trofymenko, N.V., Veremeienko, S.I., Borisov, F.I. (2019). Metodolohiya vyznachen-nya intensyvnosti dykhannya gruntiv ta emisiiy vtraty vuhletsyu ahrolandshaftamy Livoberezhnoho Polissya naprykintsi periodu vehetatsiyi roslyn [Metodologiya vyznachennia intensosti respiration soiliv ta emission loss of carbon by agrolandscapes of Livoberezhnoho Polissia at the end of the vegetation period of plants]. *Visnyk Lvivskoho natsionalnoho ahrarnoho univer-sytetu* [Bulletin of Lviv National Agrarian University]. Vol. 3, pp. 238–243.

8. Li, M., Peng, J., Lu, Z., Zhu, P. (2023). Research progress on carbon sources and sinks of farmland ecosystems. *Resources, Environment and Sustainability*. no 11, 100099. DOI: 10.1016/j.resenv.2022.100099

9. Khumarov, O.A. (2016). Formuvannya instytut-synoho zabezpechennia rozpodilu kvot parnykovykh haziv [Institutional support for the distribution of green-house gas quotas]. *Zb. nauk. prats Ekonomichni innovat-siyi Instytut problem rynku ta ekonomiko-ekolohichnykh doslidzhen NAN Ukrayiny* [Coll. Sci. Works Economic Innovations Institute of Market Problems and Economic and Environmental Research of the National Academy of Sciences of Ukraine]. Odesa, Issue 61, pp. 358–367. Available at: <http://dspace.nbuv.gov.ua/bitstream/handle/123456789/79164/41-Khumarov.pdf?sequence=1>

10. Demidenko, O., Shapoval, O., Velychko, V., Boyko, P. (2015). Koloobih orhanichnoho vuhletsyu v ahrotsenozakh riznorotatsiynykh sivozmin [Organic carbon cycle in agrocenoses of multirotational crop rotations]. *Visnyk ahrarnoyi nauky* [Bulletin of Agrarian Science]. Vol. 93, no. 3, pp. 56–62. DOI: 10.31073/agrovisnyk201503-11

11. Khumarov, O.A. (2015). Teoretychni osnovy formuvannia vintrinnoho carbonnoho rynku v Ukrainy [Theoretical foundations of the formation of the internal carbon market in Ukraine]. *Social'no-ekonomichni problemy suchasnogo periodu Ukrai'ny* [Socio-economic problems of the modern period of Ukraine]. Issue. 1, pp. 86–91. Available at: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/sepspu\\_2015\\_1\\_18](http://nbuv.gov.ua/UJRN/sepspu_2015_1_18).

12. Yang, Y., Tilman, D. (2020). Soil and root carbon storage is key to climate benefits of bioenergy crops. *Biofuel Research Journal*. Vol. 7(2), pp. 1143–1148. DOI: 10.18331/BRJ2020.7.2.2

13. Trofymenko, P.I., Ivanik, O.M., Trofymenko, N.V. (2020). Metodolohiya monitorynhu SO<sub>2</sub> v systemi «grunt-atmosfera-roslyna» ta dobovyi biolo-hichnyy koloobih vuhletsyu gruntiv ahrolandshaftiv Polissya Ukrayiny [Methodology for monitoring CO<sub>2</sub> in the system "soil-atmosphere-plant" and daily bio-

logical carbon cycle of soils of agricultural landscapes of Ukraine]. *Tavriyskyy naukovyy visnyk* [Tavria Scientific Bulletin]. no. 110, Part 2, pp. 231–244. DOI 10.32851/2226-0099.2019.110-2.30

14. Muñoz, C., Paulino, L., Monreal, C., Zagal, E. (2010). Greenhouse gas (CO<sub>2</sub> and N<sub>2</sub>O) emissions from soils: a review. *Chilean journal of agricultural research*. no 70(3), pp. 485–497. Available at: <https://pdfs.semanticscholar.org/a338/b0c47b6bf21b29b39b-24833b384ace7a1d38.pdf>

15. Matteucci, G., Dore, S., Stivanello, S., Rebmann, C., Buchmann, N. (2000). Soil respiration in beech and spruce forest in Europe: trends, controlling factors, annual budgets and implications for the ecosystem carbon balance. *Carbon and nitrogen cycling in European forest ecosystems*. Springer Verlag, Berlin, Germany. pp. 217–236. DOI: 10.1007/978-3-642-57219-7\_10.

16. Demydenko, O.V. (2022). Porivnyalna efektyvnist korotkorotatsiynykh sivozmin za sekvestratsiynoyu zdatnistyu ta ahroenerhetychnoyu produktyvnistyu [Comparative efficiency of short-rotation crop rotations in terms of sequestration ability and agroenergetic productivity]. *Visnyk ahrarnoyi nauky* [Bulletin of Agrarian Science]. no. 8 (833). DOI: 10.31073/agrovisnyk202208-02

17. Wilson, L., New, S., Daron, J., Golding, N. (2021). *Climate Change Impacts for Ukraine*. Met Office, 34 p. Available at: [https://www.metoffice.gov.uk/binaries/content/assets/metofficegovuk/pdf/services/government/met-office\\_climate-change-impacts-for-ukraine\\_report\\_08dec2021\\_english.pdf](https://www.metoffice.gov.uk/binaries/content/assets/metofficegovuk/pdf/services/government/met-office_climate-change-impacts-for-ukraine_report_08dec2021_english.pdf)

18. Bruna de Oliveira, Silva, Mara Regina, Moitinho, Gustavo André de Araújo, Santos, Daniel De Borto, i Teixeira, Caro ina, Fernandes, Newton a Sca, a Jr. (2019). Soil CO<sub>2</sub> emission and short-term soil pore class distribution after tillage operations. *Soil and Tillage Research*. Vol. 186, pp. 224–232. DOI: 10.1016/j.still.2018.10.019

19. Ryzhuk, S.M., Kochyk, H.M., Melnychuk, A.O., Kucher, G.A., Savchuk, O.I. (2022). Obgruntuvannya pidkhodiv i stratchichnykh napryamiv shchodo sekvestratsiyi y zbilshennia orhanichnoho vuhletsyu v gruntakh zony Polissia [Substantiation of approaches and strategic directions for sequestration and increase of organic carbon in soils of the Polissia zone]. *Visnyk ahrarnoyi nauky* [Bulletin of Agrarian Science]. no. 5 (830), pp. 20–32. DOI: 10.31073/agrovisnyk202205-04.

20. Polovyi, V.M., Yashchenko, L.A., Rovna, G.F., Huk, B.V. (2022). Intensyvnyy emisiiy CO<sub>2</sub> z derno-vo-pidzolyistoho gruntu za riznykh doz meliorantiv i udobrennya ripaku ozymoho u Zakhidnomu Polissia [Intensity of CO<sub>2</sub> emission from sod-podzolic soil at different doses of ameliorants and fertilization of winter rapeseed in Western Polissia]. *Zbirnyk naukovykh prats «Ahrrobiolohiya»* [Collection of scientific papers "Agrobiology"]. no. 1, pp. 36–42. DOI: 10.33245/2310-9270-2022-171-1-36-42

21. Wang, Y., Yao, Z., Zhan, Y., Zheng, X., Zhou, M., Yan, G., Wang, L., Werner, C., Butterbach Bahl, K. (2021). Potential benefits of liming to acid soils on



climate change mitigation and food security. *Global Change Biology*. Vol. 27(12), pp. 2807–2821. DOI: 10.1111/gcb.15607

### Monitoring of CO<sub>2</sub> emission fluxes and organic C balance in limed sod-podzolic soil in winter rapeseed field

Polovyi V., Yashchenko L., Rovna G., Huk B.

Management of carbon sequestration processes is one of the main issues in overcoming soil organic matter degradation in the Polissya zone, especially taking into account climate changes. There is a need to research and develop measures to reduce unproductive losses of CO<sub>2</sub> from the soil, which will contribute to the stabilization of the organic carbon content in the soil under intensive agriculture.

The goal of the research was to establish the peculiarities of CO<sub>2</sub> emission fluxes formation and the balance of organic carbon in sod-podzolic soil on average over the cultivation years of winter rapeseed in short crop rotation at different doses of ameliorants and fertilizers. Research methods: field experiment, laboratory, computational and statistical analysis. According to the research results it was found that during

the spring- summer period of cultivation of winter rapeseed cultivation in crop rotation the highest unproductive losses of CO<sub>2</sub> from the soil can be traced in the variant without fertilizers. Significant reductions in the average daily emission fluxes of CO<sub>2</sub> from the soil and unproductive losses of carbon dioxide were noted with the application of 1.5 doses of CaMg(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> against the background of N<sub>120</sub>P<sub>90</sub>K<sub>120</sub> to 218.5 kg/ha and 3.64 kg/ha/h, respectively. Improvement of growing conditions in this variant contributes to increased accumulation of CO<sub>2</sub> 22% in the biomass of winter rapeseed and, accordingly, an increase in the share of crop residues when they are plowed into the soil to 62.8% of the total carbon dioxide emissions into the atmosphere. Taking into account the share of fertilizers and dolomite flour, the share of humus mineralization decreased to 22.6%. It was found that the application of 1.5 doses of CaMg(-CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> against the background of the recommended dose of fertilizer with the incorporation of by-products into the soil stabilizes the organic carbon balance at the level of 0.05 t/ha.

**Key words:** winter rapeseed, CO<sub>2</sub> emissions, chemical reclamation, fertilization, organic carbon balance.



Copyright: Польовий В.М. та ін. © This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.



ORCID iD:

Польовий В.М.

Ященко Л.А.

Ровна Г.Ф.

Гук Б.В.

<https://orcid.org/0000-0002-3133-9803>

<https://orcid.org/0000-0003-1407-0133>

<https://orcid.org/0000-0002-7599-5650>

<https://orcid.org/0000-0002-8666-2667>