



Агроекологія, радіологія, меліорація

УДК 631.417.2:631.52

© 2026

БАЛАНС ВУГЛЕЦЮ В ПОСІВАХ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР НА ЧОРНОЗЕМІ ТИПОВОМУ ТА ОСУШЕНИХ ТОРФОВИХ ҐРУНТАХ ЛІСОСТЕПУ

М.І. Штакал¹, Я.С. Цимбал²,
Л.М. Голик³, В.М. Штакал⁴, О.С. Левченко⁵

¹доктор сільськогосподарських наук

^{2–4}кандидати сільськогосподарських наук

⁵PhD (доктор філософії)

Національний науковий центр «Інститут землеробства

Національної академії аграрних наук України»

вул. Машинобудівників, 2-Б, с-ще Чабани

Фастівського р-ну Київської обл., 08162, Україна

e-mail: ¹shtakal.mykola@gmail.com, ²tsimbal.ya@gmail.com,

³holykselekcjoner@gmail.com, ⁴shtakal@i.ua, ⁵feniks1213@gmail.com

ORCID: ¹0000-0002-9511-0290, ²0000-0002-0414-885X,

³0000-0002-7157-6520, ⁴0000-0002-7664-0325, ⁵0000-0003-1639-326X

Надійшла 07.12.2025. Рецензована 23.03.2026. Прийнята до друку 16.07.2026

Мета. Встановити баланс вуглецю в посівах сільськогосподарських культур у сівозміні на чорноземі типовому й осушених торфових ґрунтах Лісостепу на підставі порівняння виходу загальної біомаси культур та інтенсивності виділення CO₂ з поверхні ґрунту для визначення його впливу на навколишнє природне середовище. **Методи.** Польовий (для морфологічних порівнянь і визначення продуктивності культур), адсорбції (лабораторний) (для визначення складу поживних речовин у рослинах), варіаційної статистики даних (для встановлення достовірності отриманих даних за використання спеціалізованої програми обробки статистичних даних Statistica 12). **Результати.** Дослідження проводили на чорноземі типовому й осушених торфових ґрунтах Панфільської дослідної станції ННЦ «Інститут землеробства НААН» упродовж 2023–2025 рр. Загальний вихід сухої біомаси в посівах пшениці озимої в різних сортів становив 12,6–17,1 т/га, а поглинутого вуглецю — $5,54 \pm 1,1$ – $7,52 \pm 1,3$ т/га, кукурудзи на зерно — відповідно, 21,0 і $9,24 \pm 1,6$ т/га. У соняшнику та сої на насіння ці показники становили, відповідно, 11,5 і $5,06 \pm 0,9$, а також 7,6 та $3,32 \pm 0,6$ т/га,

в ехінацеї пурпурової — $11,9$ та $5,24 \pm 1,0$ т/га. На осушених торфових ґрунтах загальний вихід біомаси багаторічних трав (старовікових травостоїв) становив $14,5$ т/га за поглинання вуглецю на рівні $6,38 \pm 1,1$ т/га, а кукурудзи на зерно — відповідно, $18,3$ і $8,05 \pm 1,2$ т/га. Інтенсивність виділення CO_2 з поверхні ґрунту залежала від культури, фази вегетації, періоду доби, температури повітря і становила в середньому на чорноземі типовому $3,4 \pm 0,5$ – $4,8 \pm 0,7$ кг/га за добу. На осушених торфових ґрунтах у посівах багаторічних трав і кукурудзи цей показник сягав $8,1$ – $8,8 \pm 1,1$ кг/га за годину, у нічний час він був на 17 – 21% нижчим, ніж удень. Баланс вуглецю на чорноземі типовому є додатним у посівах пшениці озимої, кукурудзи на зерно та ехінацеї. Вирощування соняшнику також не є джерелом забруднення CO_2 . Лише в посівах сої цей баланс має невелике від'ємне значення ($-1,13 \pm 0,2$ т/га). Використання осушених торфових ґрунтів під посіви старовікових низькопродуктивних лучних угідь і кукурудзи є проблематичним з екологічного погляду. **Висновки.** Баланс вуглецю, визначений за методом адсорбції, показав, що сільськогосподарське використання угідь у зоні Лісостепу в посівах кукурудзи, пшениці озимої, ехінацеї та соняшнику не є джерелом забруднення навколишнього природного середовища вуглекислим газом. Старовікові низькопродуктивні лучні угіддя і посіви кукурудзи на осушених торфових ґрунтах виділяють у навколишнє природне середовище більше вуглецю, ніж поглинають його. Однак ці угіддя у структурі посівних площ держави є незначними (до 1%).

Ключові слова: біомаса рослин, інтенсивність виділення, CO_2 , клімат, парникові гази, сорти, фази вегетації.

DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202608-07>

За останні 20–25 років на нашій планеті чітко простежуються кліматичні зміни в бік потепління. Головною причиною цього явища є підвищення вмісту вуглекислого газу в атмосфері, основними джерелами якого вважають викиди промислових підприємств і сільського господарства, автомобільного транспорту та комунальних підприємств. Ця ситуація стала настільки загрозливою, що більшість держав світу підписали Кіотський протокол. Головна мета угоди полягає в необхідності стабілізації концентрації парникових газів в атмосфері на рівні, який би не допускав небезпечного антропогенного впливу на кліматичну систему планети. Кіотський протокол набув чинності

16 лютого 2005 р. На сьогодні 191 країна підписала та ратифікувала протокол, крім США, які підписали, але не ратифікували його. Багато країн Європи, передусім північні країни ЄС, зобов'язалися не лише стабілізувати викиди вуглецю в атмосферу, а й зменшити їх. Наша країна на законодавчому рівні також закріпила Національний реєстр викидів забруднювачів [1]. Проте країни, що ратифікували угоду, не мають особливих стимулів її виконувати, допоки США (25% світових викидів CO_2) не ратифікують Кіотський протокол.

У сільському господарстві наразі питання балансу вуглецю за вирощування сільськогосподарських культур мало вивчене. Немає достовірних даних щодо

того, чому дорівнює цей баланс у розрізі ґрунтово-кліматичних зон, структури посівних та окремих культур. Адже, з одного боку, культури поглинають вуглекислий газ для формування врожаю, а з другого — його виділяють в атмосферу в процесі дихання та розкладання органічних решток і гумусу під дією мікроорганізмів [2–4]. Ці питання, зокрема баланс вуглецю в посівах окремих сільськогосподарських культур на чорноземі типовому та осушених торфових ґрунтах Лісостепу, потребують глибокого дослідження.

У науковій літературі, присвяченій вивченню викидів вуглекислого газу в атмосферу в посівах сільськогосподарських культур, більше уваги приділяють питанням родючості ґрунту й умісту в ньому гумусу як основного джерела родючості та концентрації вуглекислого газу, метану, аміаку тощо. Наразі важливі дослідження проводять на Черкаській дослідній станції ННЦ «Інститут землеробства НААН». За їх результатами встановлено, що наявні технології вирощування сільськогосподарських культур, які базуються на різних за інтенсивністю системах удобрення, відіграють важливу роль у перетворенні вуглекислого газу з повітря в рослинну біомасу. Не менш важливим є відношення секвестраційного атмосферного $C-CO_2$ до структури загальної фітомаси, емісії від мінерального азоту та мінералізації побічної продукції, що впливає як на баланс $C-CO_2$, та його інтенсивність, так і на його ємність в агроценозі. За інтенсивної системи удобрення середня секвестрація $C-CO_2$ перед формуванням основної продукції становила 7,27 т/га, а за органічної системи удобрення — зменшувалася на 22–26%. Тут ураховується мінералізація як гумусу (21–25%), так і органічних рослинних решток (75–78%) [5, 6]. За даними Вінницького національного аграрного університету, перетворення природних ландшафтів на землі сільськогосподарського призначення майже завжди призводить до виснаження природних запасів вуглецю

у ґрунті. Наприклад, середні втрати органічного ґрунтового вуглецю у верхньому шарі ґрунту товщиною 1 м протягом 2–8 років після перетворення місцевої території з природною рослинністю на сільськогосподарські угіддя коливаються в межах 15–40%. Відростання рослинності після посіву або використання систем нульового обробітку ґрунту, а також глибоко вкорінених видів дерев і трав, що швидко ростуть, може призвести до відновлення органічної речовини ґрунту до рівнів, що наближаються до показника карбону, а часто і перевищують його у ґрунтах лісових екосистем [7]. На важливість визначення балансу гумусу та мінералізації органічної речовини в рослинництві вказують й інші дослідники [8].

Мета досліджень — установити баланс вуглецю в посівах сільськогосподарських культур на чорноземі типовому та осушених торфових ґрунтах Лісостепу на підставі порівняння виходу загальної біомаси культур й інтенсивності виділення CO_2 з поверхні ґрунту для визначення його впливу на навколишнє природне середовище.

Матеріали та методи досліджень. Польові дослідження проводили як стаціонарні досліди на чорноземі типовому й осушених торфових ґрунтах Панфільської дослідної станції ННЦ «Інститут землеробства НААН» упродовж 2023–2025 рр. згідно з методикою Інституту кормів НААН [9]. Типові чорноземи на легких суглинках мають в орному шарі такі фізичні й агрохімічні властивості: вміст гумусу — 3,08–3,15%, рухомих сполук фосфору — 237–270 мг/кг ґрунту, а рухомих сполук калію — 80–100 мг/кг ґрунту, $pH_{\text{сop}}$ — 5,7, ступінь насичення вбирного комплексу основами — 85–99%, гідролітична кислотність — 2,1 мг-екв/100 г ґрунту, щільність — 1,18 г/см³. Площа облікової ділянки — 10 м², повторення 4-разове.

На осушених торфових ґрунтах дослідження проводили в заплаві р. Супій. Глибина торфового шару — понад 2 м.

Верхній його шар (0–30 см) має такі агрофізичні й агрохімічні показники: ступінь розкладання торфу — понад 80%, зольність — 45–50%, щільність — 0,35–0,4 г/см³, рН_{вод} — 7,5–7,7, уміст валових форм азоту — 1,6–2,0%, рухомих сполук фосфору — 0,3–0,4%, рухомих сполук калію — 0,1–0,15%, високомолекулярних органічних кислот — 15–16%. Площа облікової ділянки — 28 м², повторення 4-разове. Технологія вирощування сільськогосподарських культур загальноприйнята (за методикою Інституту кормів Поділля НААН) [9]. У посівах кукурудзи й соняшнику на чорноземі типовому мінеральні добрива вносили дозою N_{60–90}P₆₀K₆₀, під сою — P₄₀K₄₀, а на торфовищах під трави та кукурудзу — K₄₅.

Сума опадів у квітні 2023 р. перевищила норму на 38 мм, або в 1,8 раза, що спричинило інтенсивний ріст бур'янів. Сума опадів у липні – серпні була вищою за норму на 26 мм, проте за вегетацію вона перевищила норму лише на 11 мм. Перевищення норми середньодобової температури повітря за вегетацію на 2,1 °С негативно позначилося на формуванні вегетативної маси лікарсько-кормових трав. У 2024 р. опади випадали нерівномірно, сухі й вологі періоди чергувались. Особливо посушливими були травень, серпень і вересень, коли температура повітря перевищувала норму в серпні – вересні на 3,4–5,4 °С, а кількість опадів становила лише 10 мм, або 25% норми.

Загалом за вегетацію у 2024 р. випало 223 мм опадів, або 70% норми, а температура повітря перевищувала норму на 3,3 °С.

Температурний режим у 2025 р. також був нестабільним. Так, березень був дуже теплим: середньодобова температура повітря перевищувала попередні 144 роки метеоспостережень і становила 6,2 °С, або вище за норму на 4,2 °С, що спричинило початок ранньої вегетації багаторічних культур.

Однак 1-ша декада квітня характеризувалася низькими температурами й нічними заморозками. Бездошовими виявилися 2-га половина квітня та 1-ша декада травня. У травні середньодобова температура повітря була нижчою за норму на 2,9 °С з нічними заморозками, що затримало ріст і розвиток рослин. Наступні місяці вегетації були досить типовими для зони Лісостепу, температура була на 1,2–2,7 °С вищою за норму. Загалом за 2023–2025 рр. температура повітря перевищувала норму на 1,8 °С, а сума опадів за вегетацію була нижчою за норму на 41 мм, що характерно для кліматичних змін в останні роки в зоні Лісостепу.

Інтенсивність виділення та балансу вуглецю в посівах сільськогосподарських культур визначали щомісяця під час вегетації рослин методом адсорбції за методикою ННЦ «Інститут землеробства НААН» [10]. Суть цього методу полягає у здатності лужного розчину поглинати виділення CO₂ з поверхні ґрунту з наступним титруванням луку кислотою аналогічної концентрації для визначення кількості поглинутого CO₂. Для ізоляції поверхні ґрунту від зовнішнього повітря використовували пластмасові циліндри діаметром 12 см. Як сорбент використовували 25 мл 0,1 нормального розчину їдкого натру, який наливали в нітратні чашечки. Такі дослідження проводили щомісяця вдень і вночі з експозиціями, відповідно, у 4–6 і 14–16 год у 3-разовому повторенні. В контрольному варіанті поверхню ґрунту накривали поліетиленовою плівкою для повної ізоляції від зовнішнього середовища. Баланс вуглецю обчислювали з урахуванням загальної формули крохмалю та целюлози (C₆H₁₀O₅)_n, уміст вуглецю в якій становить 44%, а уміст вуглецю у вуглекислому газі — 27%. Математичну обробку результатів польових дослідів проводили методом дисперсійного аналізу за загальноприйнятою методикою В.О. Єщенка [11].

1. Вихід біологічної маси та вуглецю в посівах сільськогосподарських культур на чорноземі типовому й осушених торфових ґрунтах (середнє за 2023–2025 рр.), т/га

Культура, сорт	Урожайність, т/га			Середнє	Вихід		Загальний вихід біомаси	Поглинуто С–CO ₂ врожаєм
	2023 р.	2024 р.	2025 р.		соломи, стебел	кореневих решток		
Пшениця озима, чорнозем типовий								
Поліська 90	6,5	4,2	5,5	5,4	5,3	4,0	14,7/12,6	5,54 ± 1,1
Ефектна	8,0	7,5	8,6	8,0	7,0	3,9	18,9/16,3	7,17 ± 1,3
Вікторія Поліська	8,8	8,0	8,5	8,4	7,6	3,9	19,9/17,1	7,52 ± 1,3
Скаген	8,2	4,8	8,3	7,1	6,2	3,3	16,6/14,3	6,29 ± 1,2
НІР _{0,5}	0,3	0,29	0,29	0,29				
Культури сівозміни, чорнозем типовий								
Кукурудза	8,4	7,3	8,6	8,1/7,0	9,3	4,7	21,0	9,24 ± 1,6
Соняшник	3,9	3,8	3,3	3,7/3,4	4,57	3,5	11,5	5,06 ± 0,9
Соя	4,6	3,2	3,0	3,6/3,1	2,65	1,8	7,6	3,32 ± 0,6
Ехінацея пурпурова	7,6	5,4	4,4	5,8	1,2	4,9	11,9	5,24 ± 1,0
НІР _{0,5}				0,93				
Культури, осушені торфові ґрунти								
Багаторічні трави	8,2	5,1	6,6	6,6	—	7,9	14,5	6,38 ± 1,1
Кукурудза	7,4	6,8	7,6	7,3/6,2	7,2	4,9	18,3	8,05 ± 1,2
НІР _{0,5}	0,61	0,4	0,42	0,48				
Примітка. В чисельнику показники врожайності зерна й насіння культур подано за стандартної вологості, а в знаменнику — сухої маси.								

Примітка. В чисельнику показники врожайності зерна й насіння культур подано за стандартної вологості, а в знаменнику — сухої маси.

Результати досліджень. Отримані дані виходу біологічної маси сільськогосподарських культур і поглинання ними вуглецю на різних типах ґрунтів дали змогу встановити можливості рослин формувати загальну біологічну масу й поглинати вуглець з атмосфери та ґрунту (табл. 1). Зокрема, у різних сортів пшениці озимої найнижчі показники врожайності були в сорту Поліська 90 і становили в середньому у 2023–2025 рр. 5,4 т/га. У сорту іноземного походження Скаген вона зростала до 7,1 т/га. Причому показники врожайності за 2023 і 2025 рр. були майже такими самими, як у найкращих вітчизняних сортів. Різке зниження врожайності у 2024 р. пов'язане з тим, що цей сорт досить продуктивний, але за адаптивним потенціалом у зоні Лісостепу не може ефективно протистояти погодним змінам за роками. Врожайність

сортів Ефектна в середньому становила 8,0 т/га, Вікторія Поліська — 8,4 т/га.

Вихід соломи коливався в межах від 5,3 т/га у сорту Поліська 90 до 7,6 т/га у сорту Вікторія Поліська. Найнижчий вихід кореневих решток (3,3 т/га) був у сорту Скаген, а в інших сортів він становив 3,9–4,0 т/га. У підсумку загальний вихід сухої біомаси становив у сорту Поліська 90 12,6 т/га, Скаген — 14,3, Ефектна — 16,3, Вікторія Поліська — 17,1 т/га. При цьому поглинуто вуглецю рослинами й винесено біологічним урожаєм у сорту Поліська 90 5,54 ± 1,1 т/га, Скаген — 6,29 ± 1,2, Ефектна — 7,17 ± 1,3, Вікторія Поліська — 7,52 ± 1,3 т/га.

Найвищий вихід біологічної маси культур сівозміни на чорноземі типовому отримано за вирощування кукурудзи на зерно (21,0 т/га), а поглинуто вуглецю врожаєм — 9,24 ± 1,6 т/га. За вирощування соняшнику й сої на насіння

2. Інтенсивність виділення CO₂ в різні місяці вегетації та періоди доби (середнє за 2023–2025 рр.), кг/га за 1 год

Культура, сорт	Квітень		Травень		Червень		Липень		Серпень		Вересень		Середнє
	День	Ніч	День	Ніч	День	Ніч	День	Ніч	День	Ніч	День	Ніч	
Пшениця озима, чорнозем типовий													
Поліська 90	2,8	2,0	4,3	3,2	4,4	3,3	7,1	5,8	–	–	–	–	4,15 ± 0,6
Ефектна	2,8	2,0	4,7	3,3	4,0	3,4	7,1	5,9	–	–	–	–	4,15 ± 0,7
Вікторія Поліська	2,5	1,8	4,8	3,3	3,5	3,5	6,4	5,6	–	–	–	–	3,95 ± 0,5
Скаген	2,9	2,1	5,3	3,5	4,7	3,5	6,4	5,9	–	–	–	–	4,25 ± 0,6
Культури сівозміни, чорнозем типовий													
Кукурудза	–	–	3,8	3,0	5,8	5,1	5,7	4,9	4,2	3,5	3,9	3,2	4,3 ± 0,6
Соняшник	–	–	4,1	3,4	8,9	7,4	5,5	4,7	3,8	3,3	3,8	3,1	4,8 ± 0,7
Соя	–	–	3,9	3,1	7,5	6,0	5,6	4,9	3,9	3,3	3,7	3,0	4,5 ± 0,6
Ехінацея пурпурова	1,2	0,8	3,6	2,3	5,7	5,0	5,3	4,4	3,6	3,1	3,3	2,7	3,4 ± 0,5
Культури, осушені торфові ґрунти													
Багаторічні трави			7,1	6,5	8,9	7,4	9,1	8,1	10,0	8,1	7,7	6,9	8,1 ± 1,1
Кукурудза			8,5	7,8	10,6	9,0	9,3	8,2	10,2	9,2	7,8	7,0	8,8 ± 1,1

ці показники становили, відповідно, 11,5 і 5,06 ± 0,9, а також 7,6 та 3,32 ± 0,6 т/га. Лікарські трави, зокрема ехінацея пурпурова, що вирощувалась як монокультура, забезпечила загальний вихід біомаси на рівні 11,9 т/га, а поглинання вуглецю — 5,24 ± 1,0 т/га. На осушених торфових ґрунтах загальний вихід біомаси багаторічних трав становив 14,5 т/га за поглинання вуглецю на рівні 6,38 ± 1,1 т/га, а кукурудзи на зерно — відповідно, 18,3 та 8,05 ± 1,2 т/га.

Аналізуючи інтенсивність виділення CO₂ з поверхні ґрунту для пшениці озимої, можна стверджувати, що найнижчою вона була у квітні у фазі куцїння рослин і становила вдень 2,5–2,9 кг/га, вночі — 1,8–2,1 кг/га за годину (табл. 2). Це пов'язане з пониженими температурами в цей період та ще з доволі слабким розвитком рослин. У фазі виходу в трубку у травні інтенсивність виділення CO₂ з поверхні ґрунту зростала до 4,3–5,3 кг/га за годину вдень і 3,2–3,5 кг/га за годину вночі, що можна пояснити підвищенням температур повітря та інтенсивним розвитком

рослин. У фазі вичолошування і цвітіння (червень), незважаючи на підвищений температурний режим, емісія CO₂ з поверхні ґрунту дещо знижувалась та становила 3,5–4,7 кг/га за годину удень і 3,3–3,5 кг/га за годину вночі.

Це можна пояснити найбільш інтенсивним ростом рослин і, як наслідок, найінтенсивнішим поглинанням ними окису вуглецю. У фазі дозрівання в липні, коли фотосинтез рослин значно уповільнюється, інтенсивність виділення CO₂ з поверхні ґрунту істотно зростала. Так, удень вона коливалася в межах 6,4–7,1 кг/га за годину, а вночі — 5,6–5,9 кг/га за годину. Отже, для зменшення негативного впливу парникових газів на навколишнє природне середовище сільськогосподарські угіддя мають бути постійно зайняті вегетуючою рослинністю. Загалом за вегетацію інтенсивність виділення CO₂ з поверхні ґрунту в середньому становила вдень 4,3–4,81 кг/га за годину, а вночі — 3,56–3,74 кг/га за годину, або була нижчою на 17–22%, ніж удень. Установлено, що найвищі показники

3. Інтенсивність виділення CO₂ за місяцями вегетації в посівах сільськогосподарських культур (середнє за 2023 – 2025 рр.), т/га

Культура, сорт	Квітень	Травень	Червень	Липень	Серпень	Вересень	CO ₂ за вегетацію, т/га
<i>Пшениця озима, чорнозем типовий</i>							
Поліська 90	1,44	2,79	2,88	4,79	–	–	11,87 ± 1,9
Ефектна	1,43	2,98	2,66	4,83	–	–	11,91 ± 1,9
Вікторія Поліська	1,27	3,01	2,62	4,48	–	–	11,38 ± 1,8
Скаген	1,56	3,26	2,92	4,59	–	–	12,28 ± 2,1
<i>Культури сівозміни, чорнозем типовий</i>							
Кукурудза		2,52	3,91	3,93	2,86	2,56	15,78 ± 2,5
Соняшник		2,78	5,83	3,77	2,65	2,46	17,49 ± 2,5
Соя		2,61	4,87	3,89	2,69	2,43	16,49 ± 2,4
Ехінацея пурпурова		2,18	4,04	3,61	2,50	2,17	14,5 ± 2,2
<i>Культури, осушені торфові ґрунти</i>							
Багаторічні трави		5,06	5,86	6,38	6,70	5,27	29,27 ± 3,4
Кукурудза		6,07	7,07	6,50	7,19	5,34	32,17 ± 3,7

інтенсивності виділення CO₂ з поверхні ґрунту за сортами були в сорту Скаген, а найнижчі — у сорту Вікторія Поліська.

У сівозміні на чорноземі типовому інтенсивність виділення CO₂ з поверхні ґрунту була аналогічною з тією різницею, що вегетація рослин проходила протягом усього вегетаційного періоду, а інтенсивність виділення CO₂ з поверхні ґрунту в червні була вищою, ніж у травні. Це пов'язане з тим, що рослини досліджуваних культур у червні розвивалися не з такою інтенсивністю, як пшениці озимої. Найменшою інтенсивність виділення CO₂ з поверхні ґрунту в розрізі культур була в посівах лікарських трав (ехінацеї пурпурової): 3,4 ± 0,5 кг/га за годину. Вищим цей показник був у посівах кукурудзи на зерно (4,3 ± 0,6 кг/га за годину), який, однак, слід вважати невисоким через інтенсивне поглинання вуглецю великою біологічною масою. В посівах соняшнику показник інтенсивності виділення вуглекислого газу за вегетацію був найвищим (4,8 ± 0,7 кг/га за годину). Високим цей показник був і в посівах сої (4,5 ± 0,6 кг/га

за годину), враховуючи відносно невелику біомасу.

На осушених торфових ґрунтах показники інтенсивності виділення CO₂ з поверхні ґрунту були найвищими в досліді (8,1–8,8 ± 1,1 кг/га за годину). Це пояснюється інтенсивним розкладанням органічної речовини торфу. Слід зауважити, що в процесі досліджень, проведених у 70-ті роки минулого століття, отримано ще вищі показники інтенсивності виділення вуглекислого газу в посівах багаторічних трав, які в середньому за вегетацію становили 10,7–13,3 кг/га за годину [12, 13]. У наступні роки було встановлено, що за сільськогосподарського використання процеси мінералізації торфу уповільнюються у зв'язку зі значним зменшенням валових запасів органічної речовини у верхньому орному шарі ґрунту, чим і пояснюється зниження інтенсивності мікробіологічних процесів у торфовищах через 50 років [14]. У посівах багаторічних трав інтенсивність виділення CO₂ з поверхні ґрунту становила 8,1 ± 1,1 кг/га за годину, а в посівах

4. Баланс вуглецю в посівах сільськогосподарських культур за вегетацію (середнє за 2023–2025 рр.), т/га

Культура, сорт	Загальний вихід біомаси, т/га	Поглинання вуглецю C–CO ₂ врожаєм, т/га	Середнє виділення CO ₂ за вегетацію, кг/га за 1 год	Сума виділеного за вегетацію, т/га		Баланс вуглецю за вегетацію, т/га
				CO ₂ з ґрунту	вуглецю C–CO ₂	
Пшениця озима, чорнозем типовий						
Поліська 90	12,6	5,54	4,12	11,87	3,20	2,34 ± 0,4
Ефектна	16,3	7,17	4,14	11,91	3,22	3,95 ± 0,6
Вікторія Поліська	17,1	7,52	3,93	11,38	3,07	4,45 ± 0,7
Скаген	14,3	6,29	4,28	12,28	3,32	2,97 ± 0,4
Культури сівозміни, чорнозем типовий						
Кукурудза	21,0	9,24	4,3	15,78	6,94	2,3 ± 0,4
Соняшник	11,5	5,06	4,8	17,49	4,72	0,34 ± 0,04
Соя	7,55	3,32	4,5	16,49	4,45	–1,13 ± 0,2
Ехінацея пурпурова	11,9	5,24	3,4	14,50	3,92	1,32 ± 0,2
Культури, осушені торфові ґрунти						
Багаторічні трави	14,5	6,38	8,1	29,27	7,90	–1,52 ± 0,3
Кукурудза	18,3	8,05	8,8	32,17	8,68	–0,63 ± 0,1

кукурудзи на зерно вона підвищувалася до 8,8 ± 1,1 кг/га за годину.

У підсумку за вегетацію в посівах пшениці озимої в розрізі сортів виділено 11,38 ± 1,8–12,28 ± 2,1 т/га вуглекислого газу, в посівах культур сівозміни — 14,5 ± 2,2–17,49 ± 2,5 т/га, у посівах багаторічних трав і кукурудзи на зерно на торфових ґрунтах — відповідно, 29,27 ± 3,4 та 32,17 ± 3,7 т/га (табл. 3).

У результаті досліджень установлено баланс вуглецю в посівах сільськогосподарських культур на чорноземі типовому й осушених торфових ґрунтах (табл. 4). Так, під час вирощування пшениці озимої встановлено, що баланс вуглецю є достатнім із перевищенням його поглинання над виділенням в атмосферу на 2,34 ± 0,4–4,45 ± 0,7 т/га. Найкращі показники зафіксовано в інтенсивних сортів Ефектна та Вікторія Поліська. В сівозміні на чорноземі типовому за вирощування кукурудзи на зерно отримано додатний баланс вуглецю (2,3 ± 0,4 т/га). За вирощування на насіння сої він від'ємний (–1,13 ±

± 0,2 т/га), для соняшнику показники поглинання рослинами й виділення вуглецю в атмосферу майже ідентичні (0,34 ± 0,04 т/га). Чотирирічне вирощування ехінацеї пурпурової забезпечило додатний баланс вуглецю (1,32 ± 0,2 т/га), оскільки в умовах відсутності обробітку ґрунту мікробіологічні процеси в ньому уповільнюються.

Мікробіологічні процеси в осушених торфових ґрунтах, багатих на органічну речовину й добре забезпечених вологою, є досить інтенсивними, а показники інтенсивності виділення CO₂ з поверхні ґрунту вдвічі перевищують ті, що на чорноземі типовому. Саме тому отримати додатний баланс вуглецю тут досить складно. Навіть у посівах багаторічних трав, де інтенсивність мінералізації торфу найповільніша, досягти додатних показників балансу вуглецю на багаторічних травах в умовах помірного удобрення не вдалося. Від'ємним є показник балансу вуглецю і за вирощування кукурудзи на зерно, хоча вихід біологічної маси в неї найвищий. Це свідчить про

те, що сільськогосподарське використання осушених торфовищ у заплавах річок має бути обмеженим. Не можна також допускати, щоб у теплий період року (травень – вересень) ґрунти не були засіяні сільськогосподарськими культурами, адже це джерело значного викиду в атмосферу вуглекислого газу.

Слід також зазначити, що метод адсорбції, який використовувався в дослідженнях, іноді вважають не зовсім точним. Наукові співробітники Черкаської ДСБ НААН розробили та виготовили лабораторні зразки спеціалізованих приладів, зокрема вимірювально-обчислювальний комплекс (ВОК) «Аналізатор повітряного

середовища електронний моноблоковий модифікований» (АПСЕ-ММ) [15], який вимірює концентрацію вуглекислого газу, метану, аміаку в ґрунті. Недоліком цього методу є висока ціна аналізатора та ще вища вартість його сертифікації, через що він є недоступним для багатьох дослідників. Однак рекомендацій із визначення інтенсивності виділення CO₂ та балансу вуглецю в посівах різних культур і сортів не передбачено, тому вважаємо, що метод адсорбції, запатентований ННЦ «Інститут землеробства НААН», є простим, дешевим та надійним для таких визначень і його можна застосовувати в науковій практиці.

Висновки

Загальний вихід сухої біомаси в посівах пшениці озимої в різних сортів становив 12,6–17,1 т/га, а поглинутого вуглецю — від $5,54 \pm 1,1$ до $7,52 \pm 1,3$ т/га. Вищими ці показники були у сортів Ефектна та Вікторія Поліська. У сівозміні на чорноземі типовому найвищий вихід біологічної маси отримано за вирощування кукурудзи на зерно (21 т/га) та поглинання вуглецю врожаєм — $9,24 \pm 1,6$ т/га. За вирощування соняшнику й сої на насіння ці показники становили, відповідно, $11,5 \pm 5,06 \pm 0,9$, а також $7,6$ та $3,32 \pm 0,6$ т/га, ехінацеї пурпурової — $11,9 \pm 5,24 \pm 1,0$ т/га. На осушених торфових ґрунтах загальний вихід біомаси багаторічних трав (старовікових травостоїв) становив $14,5$ т/га за поглинання вуглецю на рівні $6,38 \pm 1,1$ т/га, а кукурудзи на зерно — відповідно, $18,3 \pm 8,05 \pm 1,2$ т/га.

Інтенсивність виділення CO₂ з поверхні ґрунту, досліджена за методом адсорбції, залежала від культури, фази вегетації, періоду доби та температури повітря, в середньому у квітні в посівах пшениці озимої вона була найнижчою ($2,31$ – $2,51$ кг/га за годину), у травні зростала (до $3,76$ – $4,38$ кг/га), у червні дещо знижувалася (до $3,52$ –

$4,05$ кг/га) і в липні різко підвищувалася (до $6,03$ – $6,49$ кг/га за годину), а за вегетацію становила $3,95$ – $4,25 \pm 0,6$ кг/га. У посівах культур сівозміни інтенсивність виділення CO₂ зростала до липня, а в серпні й вересні знижувалася за середніх показників $4,3 \pm 0,6$ – $4,8 \pm 0,7$ кг/га за годину в кукурудзи, соняшнику та сої. У посівах ехінацеї пурпурової цей показник був нижчим ($3,4 \pm 0,5$ кг/га за годину). На осушених торфових ґрунтах у посівах багаторічних трав і кукурудзи він був високим і становив $8,1$ – $8,8 \pm 1,1$ кг/га за годину. В нічний час інтенсивність виділення CO₂ з поверхні ґрунту була на 17 – 21% нижчою, ніж удень.

Сільськогосподарське використання угідь у зоні Лісостепу здебільшого не є джерелом забруднення навколишнього природного середовища вуглекислим газом. Так, посіви пшениці озимої, кукурудзи, багаторічних трав на чорноземі типовому протягом вегетації поглинають вуглецю більше, ніж виділяють у навколишнє природне середовище у процесі дихання та діяльності мікробіоти ґрунту. Баланс вуглецю тут є додатним і становить для пшениці озимої $2,34 \pm 0,4$ – $4,45 \pm 0,7$ т/га, для кукурудзи й ехінацеї, — відповідно, $2,3 \pm 0,4$ та $1,32 \pm$

$\pm 0,2$ т/га. Вирощування соняшнику також не є джерелом забруднення. Лише в посівах сої цей баланс мав невелике від'ємне значення ($-1,13 \pm \pm 0,2$ т/га). Використання осушених торфовищ під посіви старовікових низькопродуктивних лучних угідь

і кукурудзи є проблематичним з екологічного погляду. Вони за вегетацію виділяють у навколишнє природне середовище, відповідно, $1,52 \pm 0,3$ – $0,66 \pm \pm 0,1$ т/га вуглецю. Однак ці угіддя у структурі посівних площ України є незначними (не більше ніж 1%).

Shtakal M.¹, Tsymbal Ya.², Holyk L.³, Shtakal V.⁴, Levchenko O.⁵

National Scientific Center «Institute of Agriculture of NAAS», 2-B Mashynobudivnykiv Str., vil. Chabany, Fastiv distrit, Kyiv oblast, 08162, Ukraine; e-mail: ¹shtakal.mykola@gmail.com, ²tsymbal.ya@gmail.com, ³holykselekcioner@gmail.com, ⁴shtakal@i.ua, ⁵feniks1213@gmail.com; ORCID: ¹0000-0002-9511-0290, ²0000-0002-0414-885X, ³0000-0002-7157-6520, ⁴0000-0002-7664-0325, ⁵0000-0003-1639-326X
Carbon balance in crops on typical chornozem and drained peat soils of the Forest-Steppe

Goal. To establish the carbon balance in crop rotations on typical chornozem and drained peat soils of the Forest-Steppe based on comparing the yield of the total biomass of crops and the intensity of the allocation of CO₂ from the soil surface to determine its impact on the environment. **Methods.** Field (for morphological comparisons and determination of crop productivity), adsorption (laboratory) (to determine the composition of nutrients in plants), and variational statistics of data (to establish the reliability of the data obtained using a specialized statistical data processing program Statistica). **Results.** The research was conducted on the typical chornozem and drained peat soils of the Panfyly experimental station of the Research Center «Institute of Agriculture of NAAS» during 2023–2025. The total yield of dry biomass in winter wheat crops in different varieties was 12.6–17.1 tons/ha, and absorbed carbon — 5.54 ± 1.1 – $7.52 \pm \pm 1.3$ tons/ha, corn for grain — respectively, 21.0 and 9.24 ± 1.6 tons/ha. In sunflower and soybean seeds, these figures were,

respectively, 11.5 and 5.06 ± 0.9 , as well as 7.6 and 3.32 ± 0.6 t/ha, and in purple echinacea — 11.9 and 5.24 ± 1.0 t/ha. On drained peat soils, the total yield of biomass of perennial grasses (old-growth grass stands) was 14.5 t/ha for carbon absorption at the level of 6.38 ± 1.1 t/ha, and corn for grain — respectively, 18.3 and 8.05 ± 1.2 t/ha. The intensity of the release of CO₂ from the soil surface depended on the culture, the phase of vegetation, the period of day, the air temperature, and averaged $3.4 \pm \pm 0.5$ – 4.8 ± 0.7 kg/ha per day on chornozem. On drained peat soils in crops of perennial grasses and corn, this figure reached 8.1–8.8 $\pm \pm 1.1$ kg/ha per hour; at night it was 17–21% lower than in the daytime. The carbon balance on typical chornozem was positive in crops of winter wheat, corn for grain, and echinacea. Sunflower cultivation was also not a source of CO₂ pollution. The balance had a small negative value ($-1.13 \pm \pm 0.2$ t/ha) only in soybean crops. The use of drained peat soils for crops of old low-productive meadow lands and corn was problematic from an ecological point of view. **Conclusions.** The carbon balance determined by the adsorption method showed that the agricultural use of land in the Forest-Steppe zone in crops of corn, winter wheat, echinacea, and sunflower was not a source of pollution of the environment with carbon dioxide. Old low-productive meadow lands and corn crops on drained peat soils release more carbon into the environment than they absorb. However, these lands in the structure of the state's acreage are insignificant (up to 1%).

Key words: climate, CO₂ release intensity, greenhouse gases, plant biomass, varieties, vegetation phases.

DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202607-07>

Бібліографія

1. Про Національний реєстр викидів та перенесення забруднювачів: Закон України

№ 2614-IX. від 20 верес. 2022 р. <https://zakon.rada.gov.ua>

2. Lenka N., Lal R. Soil-related constraints to the carbon dioxide fertilization effect. *Critical Reviews in Plant Sciences*. 2012. 31(4). P. 342–357. doi: 10.1080/07352689.2012.674461
3. McGrath J.M., Lobell D.B. Regional disparities in the CO₂ fertilization effect and implications for crop yields. *Environmental Research Letters*. 2013. 8(1):014054. doi: 10.1088/1748-9326/8/1/014054
4. Демиденко О.В. Вуглецево-секвестраційна здатність чорнозему типового в агроценозах. *Вісник аграрної науки*. 2023. Т. 101. № 6. С. 5–17. doi: 10.31073/agrovisnyk202306-01
5. Демиденко О.В. Секвестраційна основа родючості чорнозему в агроценозах Лісостепу: монографія. Чорнобай, 2024. 384 с.
6. Демиденко О.В. Сезонна секвестраційна здатність чорнозему типового за різних агротехнологічних впливів в агроценозі. *Вісник аграрної науки*. 2023. Т. 101. № 9. С. 37–48. doi: 10.31073/agrovisnyk202309
7. Гуцол Г.В., Коваленко Н.В. Депонування вуглецю в ґрунтах та його вплив на врожайність сільськогосподарських культур: основні концепції. *Таврійський науковий вісник*. 2024. Вип. 140. С. 119–124. doi: 10.32782/2226-0099.2024.140.15
8. Пінчук В.О., Подоба Ю.В. Агро-екологічна оцінка енергопотенціалу ґрунтів. *Український журнал природничих наук*. 2023. № 6. С. 80–90. doi: 10.32782/naturaljournal.6.2023.9
9. Бабич А.О. та ін. Методика проведення дослідів з кормовиробництва і годівлі тварин; за ред. А.О. Бабича. Київ: Аграрна наука, 1998. 80 с.
10. Корсун С.Г., Гамалей В.І. Спосіб визначення екологічної стійкості ґрунту в агроландшафтах. Патент на винахід. 81031. Україна МПК G001N33/24. Заяв. 10.11.05. Опубл. 26.11.07. Бюл. №19, 4 с.
11. Єщенко В.О., Копитько П.Г., Опришко В.П., Костогриз П.В. Основи наукових досліджень в агрономії. Київ: Дія, 2005. 288 с.
12. Слюсар І.Т., Штакал М.І. Мінералізація органічної речовини торфо-глейових ґрунтів. *Вісник сільськогосподарської науки*. 1980. № 7. С. 11–13.
13. Штакал М.І., Штакал В.М. Теоретичні основи лучного кормовиробництва на осушених торфовищах: монографія. Вінниця: ТОВ ТВОРИ, 2020. 184 с.
14. Kaminski V.F., Shtakal N.I., Kolomiets L.P., Shtakal V.N. Agricultural use of peat bog soils and changes in water duty to floodplains of the Left-Bank Fores-Steppe. *Ukrainian Journal of Ecology*. 2020. 10(2). P. 23–27. doi: 10.15421/2020_58
15. Бойко О., Небилиця М., Демиденко О. та ін. Методика визначення показників емісії парникових газів та деяких забруднюючих речовин від сільськогосподарських об'єктів і агроландшафтів методом безперервної автоматичної реєстрації: метод. рек. Черкаси: Черкаська ДСБ НААН, 2024. 44 с.