

УДК 631.9:633:631.147:631.51(043.2)
DOI <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2023.18.7>

БАЛАНС ПАРНИКОВИХ ГАЗІВ В ОРГАНІЧНІЙ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОЩУВАННЯ СОЇ ЗАЛЕЖНО ВІД СИСТЕМ ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ

ДУБРОВІН В.В. – кандидат сільськогосподарських наук
orcid.org/0000-0002-0260-8517

Одеський державний аграрний університет

ФЛАКЕЙ В.В. – аспірант 3-року навчання
orcid.org/0000-0001-7082-453X

Одеський державний аграрний університет

Постанова проблеми. Сільське господарство має суттєвий внесок у викиди парникових газів. Наприклад, у до пандемічний період, за 2019 рік загальні викиди парникових газів в Україні становили за даними Світового банку 321.5 млн. т CO₂-еквівалент (CO₂-екв.), з яких частка сільського господарства становила 15,7%. В галузі рослинництва основні причини суттєвої кількості викидів парникових газів пов'язані з такими причинами як значна розораність земель і інтенсивна обробка ґрунту [15, 16].

Відповідно до Паризької угоди, Україна зобов'язалася скоротити викиди парникових газів на 65% до 2030 року порівняно з рівнем 1990 року. Так, за даними Національного кадастру антропогенних викидів та абсорбції парникових газів України, у 2019 році викиди парникових газів дійсно зменшилися на понад 62%, а в 2020 – на понад 65% у порівнянні з 1990 роком [19].

Середні річні викиди парникових газів від обробки ґрунту можуть варіюватися залежно від методів обробки ґрунту та культур, що вирощуються в різних регіонах світу. Згідно з оглядовою статтею Сміта та ін. (2008), середні глобальні викиди вуглекислого газу (CO₂) від обробки ґрунту становлять близько 1,1 мільярда тон на рік, тоді як викиди закису азоту (N₂O) оцінюються приблизно в 230 мільйонів тон на рік [13].

Однак важливо зазначити, що ці оцінки ґрунтуються на даних більш ніж десятирічної давності, а обсяги викидів можуть суттєво відрізнятись залежно від застосовуваних методів обробки ґрунту та вирощуваних культур. Крім того, досягнення в технології обробки ґрунту, такі як скорочений обробіток ґрунту та ґрунтозахисний обробіток ґрунту, мають потенціал для зменшення викидів парникових газів. Тому важливо продовжувати моніторинг та оцінку викидів парникових газів від практик обробки ґрунту з метою виявлення можливостей для їх зменшення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Ґрунти є важливим компонентом глобального кругообігу вуглецю. За даними Продовольчої та сільськогосподарської організації ООН (FAO), ґрунти зберігають близько 2500 Гігатон вуглецю, що приблизно в три рази перевищує кількість, що зберігається в атмосфері, і в чотири рази більше, ніж кількість, яка зберігається в живих рослинах і тваринах. Однак важливо зазначити, що кількість вуглецю, що зберігається в ґрунті, може сильно відрізнятись залежно від таких факторів, як тип ґрунту, клімат, рослинність і землекористування. Крім того, така

людська діяльність, як вирубка лісів, зміни землекористування та інтенсивна сільськогосподарська практика, може спричинити втрату вуглецю ґрунтом і сприяти глобальним викидам вуглецю. Тому управління вуглецем у ґрунті є важливим аспектом глобальних зусиль із пом'якшення кліматичних змін [1, 10, 13].

Обробіток ґрунту суттєво змінює щільність складення, змінює його аерацію, відповідно повітряний і водний режими ґрунту. Раніше це було чи не найголовнішою метою обробки, але зараз погляди змінились. При цьому наукова спільнота визначила, що мінімізація обробки ґрунту та перехід на систему землеробства no-till істотно скорочує викиди та перехід на скорочені технології обробки ґрунту визначені у міжнародних стандартах вуглецевого землеробства [3].

В досліджах D.C. Reicosky (1997), внаслідок мінералізації, викиди вуглецю (C) становили за 19 діб: після оранки – 249 г/м², після дискування – 106,6 г/м², після чизелювання – 99,8 г/м² і після no-till – 49,9 г/м². При цьому із залишками культури – ярої пшениці, яку зібрали перед обробкою, – накопичено 185 г/м² вуглецю. Тобто після оранки за період 19 діб була втрачена кількість вуглецю суттєво більша за накопичену зібраною культурою, що означає втрати органічного вуглецю ґрунту, накопиченого культурами у попередні роки (5).

Результати дослідження показують, що системи обробки ґрунту без обробки та чизельним плугом мали більший рівень секвестрації вуглецю порівняно з системою з відвальним плугом [2]. Система no-till мала найвищий рівень секвестрації вуглецю із середнім приростом на 0,93 т/га/рік протягом чотирьох років, тоді як система чизельного плуга мала середній приріст на 0,74 т/га/рік, а система з відвальним плугом мала середній приріст 0,49 т/га/рік. Дослідження також виявило, що сівозмінна кукурудза-соя мала більший рівень секвестрації вуглецю порівняно з монокультурою кукурудзи, із середнім збільшенням на 0,82 т/га/рік протягом чотирьох років порівняно з 0,63 т/га/рік для монокультури кукурудзи. Загалом, дослідження показує, що застосування систем обробки ґрунту no-till і чизельним плугом і використання сівозміни кукурудза-соя може бути ефективним у збільшенні поглинання вуглецю в ґрунті. Ці методи можуть сприяти пом'якшенню зміни клімату та покращенню стану ґрунту.

Огляд виявив, що система скороченого обробки ґрунту і no-till і призвели до менших викидів CO₂ і N₂O порівняно зі звичайними методами обробки ґрунту [7].

Проте вплив на викиди CH_4 був менш очевидним і варіювався залежно від конкретних умов і практики управління. Огляд також виявив зберігання поживних решток на поверхні поля може збільшити поглинання вуглецю та зменшити викиди парникових газів. Загалом огляд свідчить про те, що впровадження методів консервативного обробітку ґрунту, таких як скорочений обробіток ґрунту і no-till, разом з збереженням рослинних решток та методами управління сівозміною, може бути ефективним у зниженні викидів парникових газів у посушливому сільському господарстві.

Мета-аналіз виявив, що система обробітку no-till призводить до найнижчих викидів одного з найнебезпечніших парникових газів N_2O , тоді як традиційна система обробітку призводить до найвищих викидів N_2O . Системи скороченого обробітку ґрунту займають проміжне положення за викидами N_2O [17]. Результати свідчать про те, що впровадження практики no-till може бути ефективною стратегією скорочення викидів N_2O на сільськогосподарських ґрунтах. Загалом, мета-аналіз свідчить про те, що впровадження методів консервативного обробітку ґрунту, таких як нульовий обробіток і скорочений обробіток, може бути ефективним у зниженні викидів N_2O в сільськогосподарських ґрунтах. Однак автори попереджають, що ефективність цих методів може змінюватися залежно від місцевих умов і практики управління, і що необхідні подальші дослідження, щоб повністю зрозуміти фактори, які впливають на вплив методів обробітку ґрунту на викиди N_2O .

Кількість досліджень на тему впливу обробітку ґрунту на викиди парникових газів в Україні незначна, але деякі науковці вивчають це важливе питання. Наприклад, дослідження, проведене в Україні в 2019 році, показало, що вирощування кукурудзи за скороченого обробітку ґрунту зменшує викиди двоокису вуглецю на 23% в порівнянні з традиційним обробітком ґрунту [18].

В 10-річних (1996-2006) дослідженнях на Полтавщині, на фоні щорічного внесення 12 т/га органічних добрив і NPK перехід від плужного обробітку до мінімального обробітку ґрунту та no-till, покращує фонд органічної речовини чорнозему, збільшує її вміст в 0–10 см шарі ґрунту і призводить до накопичення вуглецю у фульвокислотах і гумінах [8]. При цьому автори відмітили, що вміст органічного вуглецю у метровому шарі суттєво не залежав від способу обробітку. Звичайно, це прямо вказує на зв'язок обробітку ґрунту і баланс парникових газів.

В роботі, існували значні відмінності у викидах парникових газів між різними системами обробітку ґрунту [9]. Дослідження показало, що викиди парникових газів, у тому числі вуглекислого газу (CO_2), метану (CH_4) і закису азоту (N_2O), були значно нижчими при системах no-till порівняно зі звичайними системами та системами скороченого обробітку ґрунту. Зокрема, дослідження показало, що викиди N_2O були на 30% нижчими, а викиди CH_4 були нижчими на 50% за систем no-till порівняно зі звичайними системами обробітку ґрунту. Результати свідчать про те, що методи консервативного обробітку ґрунту можуть бути ефективною стратегією скорочення викидів парникових газів із ґрунтів в Україні.

Результати дослідження показали, що викиди парникових газів значно відрізняються між різними системами обробітку ґрунту, причому система звичайного обробітку ґрунту викидає найвищі рівні CO_2 і N_2O , а система no-till – найменші [11]. Дослідження повідомляє, що традиційна система обробітку ґрунту мала найвищий рівень викидів CO_2 , за нею система з обмеженим обробітком ґрунту, а система no-till мала найнижчий рівень викидів CO_2 . Дослідження також повідомляє про загальну кількість CO_2 , що викидається кожною системою обробітку ґрунту протягом дворічного періоду дослідження. Зокрема, система звичайного обробітку ґрунту викидала 7274 кг CO_2 -екв./га, система скороченого обробітку ґрунту викидала 6121 кг CO_2 -екв./га, а система no-till викидала 5603 кг CO_2 -екв./га. Дослідники припускають, що використання скороченого обробітку ґрунту та систем нульового обробітку може бути ефективним способом скорочення викидів парникових газів із сільськогосподарських ґрунтів, а також покращити стан ґрунту та зменшити ерозію.

Згідно з дослідженням, серед досліджуваних систем обробітку ґрунту: традиційна, скорочена і no-till, система no-till мала найнижчий загальний обсяг викидів парникових газів із середнім показником 5932 кг CO_2 -екв./га протягом трьох років [12]. Система скороченого обробітку ґрунту мала дещо вищі викиди, в середньому 6712 кг CO_2 -екв./га, тоді як звичайна система обробки ґрунту мала найвищі викиди, в середньому 7592 кг CO_2 -екв./га. Результати свідчать про те, що впровадження систем нульового обробітку та скороченого обробітку може бути ефективним способом скорочення викидів парникових газів з ґрунтів, а система no-till забезпечує найменші викиди.

Мета. Метою дослідження було визначити та порівняти кількість викидів парникових газів за умов традиційної, скороченої та нульової системи обробітку ґрунту при органічній технології вирощування сої.

Матеріали і методика досліджень. Дослідження впливу систем обробітку ґрунту на баланс вуглецю і парникових газів в технології вирощування органічної сої було виконано на основі даних польового дослідження.

Територія досліджень розташована поблизу с. Байківка в Калинівському районі Вінницької області України. Ділянка розташована в межах Придніпровської височини, західної частини Українського кристалічного щита. За агроґрунтовим районуванням територія характеризує зону Лісостепу, для якої типовими є чорноземи мало- та середньогумусовані. Клімат помірно континентальний, гідротермічний коефіцієнт (ГТК) складає біля 1,0–1,2. Дослідження проводились на основі даних 2022 року.

Ґрунт чорнозем, середньосуглинковий, вміст фізичної глини 35,0%

Вміст органічної речовини 3,3%.

Відстань до найближчого елеватора – 65 км.

Вихідні дані для розрахунків засновані на інформації з технологічних карт і даних щодо врожайності відповідно до варіантів схеми дослідження (таблиця 1).

Попередник – пшениця озима з скороченим обробітком ґрунту.

Таблиця 1

Вихідні дані для розрахунків викидів парникових газів

Варіант: система обробки ґрунту	Врожайність сої, т/га	Маса рослинних решток, т/га	Витрати дизельного палива на технологію вирощування, л
Традиційна	1.7	2.79	77.5
Скорочена	2.2	3.21	75
No-till	2.3	3.30	33

Управління рослинними рештками – залишені в полі.

Система удобрення – без використання мінеральних і органічних добрив.

В системі захисту рослин були використані такі продукти: обробка насіння сумішшю Мікохелп – 2 л/т, Біоінокулянт БТУ-Р – 2 л/т, Енпосам – 0,3 л/т, Органік Баланс – 1 л/т; 1–3 трійчастий листок – обприскування сумішшю Хелп рост – 2,5 л/га, Урожай Органік – 1 л/га, Гумат калію – 0,5 л/га; бутонізація – цвітіння – Фітохелп – 0,8 л/га, ХелпРост Соя – 1 л/га; формування бобів – Бітобакцилін-БТУ – 7 л/га, Урожай Органік – 1,5 л/га.

Для розрахунку балансу викидів і секвестрації вуглецю в роботі використано методику емпіричних розрахунків на основі калькулятора викидів парникових газів Cool Farm Tool (CFT) [18]. Інструмент Cool Farm базується на міжнародно визнаних стандартах обліку парникових газів, таких як Протокол парникових газів для сільського господарства (GHG Protocol) і Керівні принципи Міжурядової групи експертів зі зміни клімату (IPCC) щодо національних кадастрів парникових газів. Інструмент Cool Farm використовує підхід до оцінки життєвого циклу (LCA) для кількісного визначення викидів парникових газів, пов'язаних із сільськогосподарським виробництвом. Цей підхід враховує всі етапи виробничого циклу, починаючи з таких вхідних ресурсів, як добрива та паливо, до внутрішньогосподарських дій, таких як обробка ґрунту та тваринництва, і, нарешті, до вихідних продуктів, таких як посіви та худоба. Інструмент також містить модулі для оцінки інших впливів на навколишнє середовище, таких як використання

води та біорізноманіття, а також модулі для оцінки прибутковості та стійкості ферми. Використовуючи стандартизовані методології та джерела даних, Cool Farm Tool дає змогу фермерам та іншим зацікавленим сторонам порівнювати та порівнювати ефективність сталого розвитку різних систем і методів ведення сільського господарства [19].

Результати досліджень. Методика розрахунків CFT враховує викиди ПГ з різних джерел, що пов'язані з технологією вирощування. При цьому викиди від мінералізації рослинних решток і органічної речовини ґрунту враховуються окремо, а вплив на це системи обробки ґрунту і використання покривних культур – окремо. Відповідно до розрахунків, в традиційній системі обробки ґрунту суттєву частку викидів має саме вплив на ґрунт через інтенсивне втручання плугом – 528 кг/га (51%) і викиди від спалювання палива – 209 кг/га CO₂-екв (20%). В підсумку баланс викидів за традиційної системи обробки ґрунту становить 1040 кг/га, або 612 кг CO₂-екв./т врожаю. Зміна системи традиційної системи обробки на скорочену лише на 3% зменшило викиди ПГ від спалювання палива, але сприяло секвестрації вуглецю у кількості 549 кг/га CO₂-екв., що позитивно вплинуло на загальний баланс за цієї технології, який в підсумку склав – 22.3 кг/га CO₂-екв. Система обробки no-till суттєво, більше ніж удвічі, скоротила викиди ПГ від спалювання палива (на 57% від традиційної системи обробки) і сприяло секвестрації 660 кг/га CO₂-екв., що в підсумку забезпечило баланс ПГ-241.2 кг/га (таблиця 2).

Таблиця 2

Баланс парникових газів при вирощуванні сої залежно від систем обробки ґрунту, кг/га CO₂-екв

Джерела викидів	Система обробки ґрунту		
	Традиційна	Скорочена	no-till
Паливо і енергія поза полем	13.4	13.4	13.4
Паливо і енергія – польові роботи	208.6	201.9	89.4
Транспортування врожаю	13.3	17.2	18.0
Виробництво добрив	0.0	0.0	0.0
Добрива/ґрунт	148.1	148.1	148.1
Захист рослин	14.7	14.7	14.7
Рослинні рештки	114.0	131.1	134.8
Всього викидів	512.1	526.4	418.3
Система обробки ґрунту +викиди/ -секвестрація	527.6	-548.7	-659.5
Баланс	1039.7	-22.3	-241.2

Таблиця 3

Викиди парникових газів на одиницю урожаю в технології вирощування органічної сої залежно від систем обробітку ґрунту, кг CO₂-екв./т зерна сої

Система обробітку ґрунту	Вуглецевий слід, кг CO ₂ -екв./т зерна сої
Традиційна	612
Скорочена	-10
No-till	-105

В розрахунках викидів парникових газів важливим показником є вуглецевий слід на одиницю вирощеної продукції. В наших дослідженнях традиційна система обробітку ґрунту залишає суттєвий вуглецевий слід порівняно з скороченою системою і no-till, які вирощені з нульовими викидами (таблиця 3).

Таким чином, в органічній технології вирощування сої в умовах Лісостепу України можна досягти позитивного балансу вуглецю з переважанням його секвестрації над викидами застосовуючи скорочену систему обробітку ґрунту та no-till. Отже, системи обробітку ґрунту з мінімальним втручанням сприяють покращенню секвестрації, скорочують викиди парникових газів – та навіть більше – сприятимуть ефективному вилученню вуглецю з атмосфери і поповненню запасів органічної речовини в ґрунті. Цей важливий елемент вуглецевого землеробства суттєво підтримує 13 ціль сталого розвитку ООН, пов'язану з пом'якшенням змін клімату.

Висновки. За результатами проведених досліджень, було зроблено ряд таких висновків, а саме:

1. Традиційна система обробітку ґрунту при вирощуванні сої у Лісостепу України сприяла значній кількості викидів парникових газів 1040 кг/га CO₂-екв., що має негативний вплив на довкілля та сприяє зміні клімату;

2. Впровадження скороченої системи обробітку ґрунту сприяє секвестрації вуглецю в ґрунті і дозволяє скоротити викиди ПГ на 1062 CO₂-екв. кг/га з отриманням від'ємного балансу вуглецю – мінус 22 кг/га CO₂-екв.

3. Система землеробства no-till через найменшу кількість спаленого палива і кращий показник секвестрації вуглецю показала найменшу кількість викидів ПГ – в балансі мінус 241 кг/га CO₂-екв.

4. Використовуючи скорочену систему обробітку ґрунту і no-till в умовах Лісостепу України можна отримати врожай органічної сої з нульовими вуглецевим слідом, що є перспективним з огляду на експортоорієнтованість цієї культури.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

- Batjes N. H. Total carbon and nitrogen in the soils of the world. *European journal of soil science*. 2014. Т. 65, № 1. С. 10–21. URL: https://doi.org/10.1111/ejss.12114_2 (дата звернення: 20.03.2023).
- Blanco-Canqui H., Lal R., Owens L. B. Soil tillage and crop sequence impacts on carbon sequestration and soil aggregation in a Mollisol. *Soil science society of america journal*. 2015. Т. 79, № 3. С. 811–818.
- Carbon farming. *Climate Action*. URL: https://ec.europa.eu/clima/eu-action/forests-and-agriculture/sustainable-carbon-cycles/carbon-farming_en (дата звернення: 22.03.2023).

- Log in – cool farm tool. Log in – Cool Farm Tool. URL: <https://app.coolfarmtool.org/> (дата звернення: 25.03.2023).
- Tillage-induced CO₂ emission from soil – Nutrient Cycling in Agroecosystems. SpringerLink. URL: <https://link.springer.com/article/10.1023/A:1009766510274> (дата звернення: 24.03.2023).
- Guo L. B., Gifford R. M. Soil carbon stocks and land use change: a meta analysis. *Global change biology*. 2002. Т. 8, № 4. С. 345–360. URL: <https://doi.org/10.1046/j.1354-1013.2002.00486.x> (дата звернення: 23.03.2023).
- Effects of tillage practices on greenhouse gas emissions in dryland agriculture: a review / Guo, L та ін. *Journal of arid land*. 2018. Т. 10, № 6. С. 775–788.
- Quality and dynamics of soil organic matter in a typical Chernozem of Ukraine under different long-term tillage systems / Y. Kravchenko та ін. *Canadian journal of soil science*. 2012. Т. 92, № 3. С. 429–438. URL: <https://doi.org/10.4141/cjss2010-053> (дата звернення: 21.03.2023).
- Greenhouse gases emissions from ukrainian soils under different tillage systems. / Kuzmenko, Y та ін. *Visnyk of dnipropetrovsk university. biology, ecology*. 2018. Т. 26, № 1. С. 47–54.
- Lal R. Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. *Science*. 2004. Т. 304, № 5677. С. 1623–1627. URL: <https://doi.org/10.1126/science.1097396> (дата звернення: 21.03.2023).
- Martynov, V, Tokhtar, V, Yermolenko, N. Greenhouse gas emissions from ukrainian soils under different tillage systems. *Journal of water and land development*. 2018. Т. 37. С. 133–141.
- Influence of tillage systems on greenhouse gas emissions in soil. / Romanenko, O та ін. *Agrology*. 2019. Т. 2, № 1. С. 47–54.
- Greenhouse gas mitigation in agriculture / P. Smith та ін. *Philosophical transactions of the royal society B: biological sciences*. 2007. Т. 363, № 1492. С. 789–813. URL: <https://doi.org/10.1098/rstb.2007.2184> (дата звернення: 21.03.2023)
- Soteriades, A. D, Jones, R. J. Greenhouse gas mitigation strategies in the agricultural sector using the cool farm tool. *Journal of cleaner production*. 2018. Т. 196. С. 171–178.
- State Agency of Ukraine for Environmental Protection. Greenhouse Gas Inventory in Ukraine. URL: <http://ghg-inventory.emenr.gov.ua/> (дата звернення: 20.03.2023).
- World bank open data. World Bank Open Data. URL: <https://data.worldbank.org/country/ukraine> (дата звернення: 22.03.2023).
- Effects of tillage practices on nitrous oxide emissions in agricultural soils: a meta-analysis. / Xu, H та ін. *Journal of environmental management*. 2018. Т. 207. С. 362–370.

18. Боровиков В, Попова О. Вплив агротехнологій на викиди парникових газів з ґрунту. Науковий вісник НУБіП України. 2020. Т. 5, № 92.
19. Україна виконала міжнародні зобов'язання щодо запобігання зміни клімату на початок 2022 року – Рахункова палата. Рахункова палата. URL: <http://rp.gov.ua/PressCenter/News/?id=1406> (дата звернення: 20.03.2023).

REFERENCES:

1. Batjes, N. H. (2014). Total carbon and nitrogen in the soils of the world. *European Journal of Soil Science*, 65(1), 10–21. doi:10.1111/ejss.12114_2(20.03.2023).
2. Blanco-Canqui, H., Lal, R., & Owens, L. B. (2015). Soil tillage and crop sequence impacts on carbon sequestration and soil aggregation in a Mollisol. *Soil Science Society of America Journal*, 79(3), 811–818).
3. Carbon farming. URL: [https://ec.europa.eu/clima/eu-action/forests-and-agriculture/sustainable-carbon-cycles/carbon-farming_en\(22.03.2023\)](https://ec.europa.eu/clima/eu-action/forests-and-agriculture/sustainable-carbon-cycles/carbon-farming_en(22.03.2023)).
4. Log in – cool farm tool. URL: [https://app.coolfarmtool.org/\(25.03.2023\)](https://app.coolfarmtool.org/(25.03.2023)).
5. Tillage-induced CO₂ emission from soil – Nutrient Cycling in Agroecosystems. URL: <https://link.springer.com/article/10.1023/A:1009766510274> (24.03.2023).
6. Guo, L. B., & Gifford, R. M. (2002). Soil carbon stocks and land use change: A meta analysis. *Global Change Biology*, 8(4), 345–360. doi:10.1046/j.1354-1013.2002.00486.x (23.03.2023).
7. Guo, L, Yang, J, Wang, L, Liu, X & Lin, S. (2018). Effects of tillage practices on greenhouse gas emissions in dryland agriculture: A review. *Journal of Arid Land*, 10(6), 775–788.
8. Kravchenko, Y., Rogovska, N., Petrenko, L., Zhang, X., Song, C., & Chen, Y. (2012a). Quality and dynamics of soil organic matter in a typical Chernozem of Ukraine under different long-term tillage systems. *Canadian Journal of Soil Science*, 92(3), 429–438. doi: 10.4141/cjss2010-053 (21.03.2023).
9. Kuzmenko, Y, Zazdravnov, O, Lukianets, O & Kudriavtseva, O. (2018). Greenhouse gases emissions from ukrainian soils under different tillage systems. *Visnyk of Dnipropetrovsk University. Biology, Ecology*, 26(1), 47–54.
10. Lal, R. (2004). Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. *Science*, 304(5677), 1623–1627. doi: 10.1126/science.1097396 (21.03.2023).
11. Martynov, V, Tokhtar, V & Yermolenko, N. (2018). Greenhouse gas emissions from ukrainian soils under different tillage systems. *Journal of Water and Land Development*, 37, 133–141.
12. Romanenko, O, Khodakivska, O, Shchur, A & Baranets, V. (2019). Influence of tillage systems on greenhouse gas emissions in soil. *Agrology*, 2(1), 47–54.
13. Smith, P., Martino, D., Cai, Z., Gwary, D., Janzen, H., Kumar, P., Smith, J. (2007). Greenhouse gas mitigation in agriculture. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 363(1492), 789–813. doi:10.1098/rstb.2007.2184 (21.03.2023)
14. Soteriades, A. D & Jones, R. J. (2018). Greenhouse gas mitigation strategies in the agricultural sector using the cool farm tool. *Journal of Cleaner Production*, 196, 171–178.
15. State Agency of Ukraine for Environmental Protection. Greenhouse Gas Inventory in Ukraine. URL: [http://ghg-inventory.emenr.gov.ua/\(20.03.2023\)](http://ghg-inventory.emenr.gov.ua/(20.03.2023)).
16. World bank open data. World .URL: <https://data.worldbank.org/country/ukraine> (22.03.2023).
17. Xu, H, Li, X, Liu, S & Liang, A. (2018). Effects of tillage practices on nitrous oxide emissions in agricultural soils: A meta-analysis. *Journal of Environmental Management*, 207, 362–370.
18. Borovykov, V., & Popova, O. (2020). Vplyv ahrotekhnolohii na vykydy parnykovykh haziv z gruntu. *Naukovyi visnyk NUBiP Ukrainy [The influence of agrotechnologies on greenhouse gas emissions from soil]*. *Scientific Messenger of NULES of Ukraine*, 5(92). [in Ukrainian]
19. Rakhunkova palata. (2022). Ukraina vykonala mizhnarodni zoboviazannia shchodo zapobihannia zminy klimatu na pochatok 2022 roku [Ukraine fulfilled international obligations on climate change prevention as of the beginning of 2022.] URL: <http://rp.gov.ua/PressCenter/News/?id=1406> (20.03.2023). [in Ukrainian]

Дубровін В.В., Флакей В.В. Баланс парникових газів в органічній технології вирощування сої залежно від систем обробітку ґрунту

Мета. Сільськогосподарська діяльність є одним із основних джерел викидів парникових газів (ПГ). Обробіток ґрунту був визначений, як одне із значних джерел викидів парникових газів у сільськогосподарському секторі. Метою дослідження було визначити та порівняти кількість викидів парникових газів за умов традиційної, скороченої та нульової системи обробітку ґрунту при органічній технології вирощування сої.

Методи. В даній роботі використані дані з польового дослідження, що вивчає ефективність систем обробітку ґрунту (традиційний, скорочений і no-till) та їх вплив на баланс викидів і секвестрації вуглецю в органічній технології вирощування сої. Розрахунки викидів ПГ були виконані за методикою емпіричних розрахунків на основі онлайн калькулятора Cool Farm Tool, який базується на міжнародно визнаних стандартах обліку парникових газів, таких як Протокол парникових газів для сільського господарства (GHG Protocol) і Керівні принципи Міжурядової групи експертів зі зміни клімату (IPCC) щодо національних кадастрів парникових газів.

Результати. Дослідження показали, що традиційна система обробітку ґрунту значно підвищує викиди парникових газів, що сягали 1040 кг/га CO₂-екв., тоді як впровадження скороченої системи обробітку ґрунту і no-till сприяє секвестрації вуглецю в ґрунті та зменшенню викидів парникових газів -22 і -241 кг/га CO₂-екв.

Висновок. Дана робота обґрунтовує оптимальний вибір систем обробітку ґрунту в технології вирощування органічної сої як важливий елемент вуглецевого землеробства, пов'язаний з пом'якшенням впливу землеробства на зміни клімату. За результатами проведених досліджень і розрахунків можна сказати, що використовуючи скорочену систему обробітку ґрунту і no-till в умовах Лісостепу України можна отримати врожай органічної сої з нульовими вуглецевим слідом, що є перспективним з огляду на експортоорієнтованість цієї культури.

Ключові слова: викиди парникових газів, обробіток ґрунту, вуглецеве землеробство, вуглецевий баланс, органічне землеробство.

Dubrovin V.V., Flakay V.V. Greenhouse gas balance in organic soybean cultivation depending on soil tillage systems

Purpose. Agricultural activities are one of the main sources of greenhouse gas (GHG) emissions. Soil tillage has been identified as one of the significant sources of GHG emissions in the agricultural sector. The aim of the study was to determine and compare the amount of GHG emissions under traditional, reduced, and no-till soil tillage systems in organic soybean cultivation.

Methods. The study used data from a field experiment that examined the effectiveness of soil tillage systems (traditional, reduced, and no-till) and their impact on carbon emissions and sequestration in organic soybean cultivation. GHG emissions calculations were performed using the empirical calculations methodology based on the Cool Farm Tool online calculator, which is based on internationally recognized standards for GHG accounting, such as the Greenhouse Gas Protocol for Agriculture (GHG Protocol) and the Intergovernmental Panel on Climate

Change (IPCC) Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.

Results. The research showed that the traditional soil tillage system significantly increased GHG emissions, which reached 1040 kg/ha CO₂-eq, while the implementation of reduced and no-till soil tillage systems contributed to carbon sequestration in the soil and reduced GHG emissions by 22 and 241 kg/ha CO₂-eq, respectively.

Findings. This study justifies the optimal choice of soil tillage systems in organic soybean cultivation as an important element of carbon agriculture, which is associated with mitigating the impact of agriculture on climate change. Based on the results of the research and calculations, it can be said that using reduced and no-till soil tillage systems under the conditions of the Forest-Steppe of Ukraine can result in an organic soybean harvest with zero carbon footprint, which is promising for the export-oriented nature of this crop.

Key words: greenhouse gas emissions, soil cultivation, carbon farming, carbon balance, organic farming.