

УДК 631.43:445.4

© 2014

*О.В. Демиденко,**кандидат сільсько-господарських наук**Черкаська державна дослідна станція ННЦ «Інститут землеробства НААН»**В.А. Величко,**доктор сільсько-господарських наук**ННЦ «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О.Н. Соколовського»*

УПРАВЛІННЯ ОБІГОМ ВУГЛЕЦЮ В АГРОЦЕНОЗАХ ПІД ВПЛИВОМ НИЗЬКОВУГЛЕЦЕВИХ АГРОТЕХНОЛОГІЙ

Мета. Встановити нормовані параметри колообігу вуглецю в агроценозах 5-пільних сівозмін різного типу за використання різних видів органічних добрив та способів обробітку ґрунту. **Методи.** Польовий, лабораторний, розрахунковий, математико-статистичний. **Результати.** Нормована продуктивність 5-пільних сівозмін становила 25,5 — 36,5 т к.о., баланс органічного вуглецю в агроценозах — від -49,5 до -33,7 т, а баланс органічного вуглецю гумусу — від -1,42 до +2,27 т за наростаючим виходом. Посилення емісії CO₂ у 2,5 — 4,5 раза від мінералізації побічної продукції та гумусу слід розцінювати позитивно — як фактор реалізації потенційної біопродуктивності через зростання фотосинтетичної активності культур в агроценозах за адаптованої ґрунтозахисної системи землеробства. **Висновки.** Детермінувальними чинниками оптимізації колообігу вуглецю є тип агроценозу, а також вид органічного добрива та дози мінеральних добрив. Зростання емісії вуглекислоти до приземних шарів атмосфери від мінералізації побічної продукції та гумусу слід розцінювати як явище корисне в умовах адаптивної ґрунтозахисної системи землеробства з позиції забезпечення реалізації потенційної біопродуктивності культур через посилення їхньої фотосинтетичної активності за оптимального вологозабезпечення опадами при надлишковому тепловому ресурсі. Якщо гідрологічний фактор є лімітувальним за надлишкового теплового ресурсу при наявній інтенсивній системі землеробства, то посилення парникового ефекту є негативним явищем, що призводить до аридизації умов вегетації культур в агроценозах і посилення емісійних потоків вуглецю в атмосферу, які не компенсуються поглинанням у процесі фотосинтезу.

Ключові слова: баланс вуглецю, продуктивність, короткоротаційні сівозміни, гній, побічна продукція, емісія CO₂.

Нині у світі питання впливу парникових газів на зміну клімату перетворилося з наукової гіпотези на одну з найбільших проблем, яка пов'язана з розбалансуванням кліматичної системи внаслідок стійких тенденцій до глобального потепління, а тому стратегічний захист клімату в Україні має ґрунтуватися на головному завданні Кіотського протоколу — стабілізації вмісту парникових газів в атмосфері на рівні недопущення антропогенного

впливу на кліматичну систему. Здійснити це потрібно у строки, необхідні для природної адаптації агроecosистем до темпів зміни клімату в часі [10]. Адаптація до змін клімату означає осмислене, прогнозоване, цілеспрямоване регулювання і пристосування агроecosистем до фактичних змін клімату та його наслідків, що дає змогу знизити рівень шкідливості фактора, використати всі наявні для цього можливості, а також передбачає

розробку відповідних стратегій реагування та впровадження низьковуглецевих високих технологій у землеробстві [12, 13].

Причиною глобальних змін клімату в бік потепління [1, 2] є антропогенне підсилення парникового ефекту [4, 8, 11]. Визначено комплекс ризиків від його посилення [10], один з них — це можливе падіння рівня родючості ґрунтів в умовах зростання продуктивності сільськогосподарських культур в агроценозах. Відбувається процес поглинання CO_2 , вміст якого не компенсується надходженням CO_2 від мінералізації гумусу, гною та побічної продукції за внесення мінеральних добрив в агроценозах сівозмін.

В Україні наявний великий резерв щодо підвищення утилізації CO_2 завдяки використанню високих технологій інтенсифікації ланок землеробства через досягнення рівноваги між гуміфікацією (утворенням гумусу) та мінералізацією органічної речовини, під впливом якої вуглець гумусу та побічної продукції у вигляді CO_2 повертається до атмосфери. Визнаючу є думка [6, 7] стосовно доцільності процесу гуміфікації органічного вуглецю та перетворення його на стабільні сполуки, проте недостатньо вивченим залишається питання значення темпів мінералізації для оптимізації вуглецевого балансу в агроценозах з метою стабілізації їхньої продуктивності [5, 7].

Дослідження змін продукування діоксиду вуглецю за умови тривалого антропогенного впливу та інтенсивності виділення CO_2 залежно від способів використання чорноземів типових Лісостепу України становить неабиякий практичний інтерес. Діоксид вуглецю атмосфери приблизно на 80–90% має ґрунтове походження [4, 10], а серед потоків CO_2 , що надходять до атмосфери, емісія з поверхні ґрунтів є однією з найпотужніших. Порушення ґрунтового дихання призводить до зміни вмісту CO_2 у приземних шарах атмосфери.

Визначальним чинником істотного порушення балансу депонованого у ґрунті та атмосфері вуглецю є агровиробництво, для якого характерні надмірна розораність чорноземів, незбалансоване застосування мінеральних добрив, порушення структури сівозміни тощо, які призвели до негативного впливу на ґрунтову біоту, популяцію живих організмів у ґрунті, що знижує стабільність агроценозів та й загальною родючість самих чорноземів Лівобережного Лісостепу України [6, 9]. Органічні добрива мають особливе значення для відтворення родючості чорноземів з огляду на те, що вони є необхідним компонентом відтворення гумусного стану

та регулятором мікробіологічних процесів, а використання різних їх видів [6] змінює емісію CO_2 до атмосфери [3].

Мета досліджень — встановити нормовані параметри колообігу вуглецю в агроценозах 5-пільних сівозмін різного типу за використання різних видів органічних добрив та способів обробітку ґрунту.

Методика досліджень. Дослідження проводили у тривалому польовому стаціонарному досліді Черкаської державної сільськогосподарської дослідної станції впродовж 1999–2010 рр. Дослід було розміщено на чорноземі типовому малогумусному крупнопилувато-легкосуглинковому з умістом гумусу 3,8–4,2%, рухомого фосфору — 12–14 мг на 100 г ґрунту, рухомого калію — 8–10 мг на 100 г ґрунту, pH_c — 6,8–7,0. Площа північної ділянки — 162 м², облікової — 100 м², повторність досліду — 3-разова.

Вивчалися дві 5-пільні сівозміни з чергуванням культур: сівозміна 1: горох — пшениця озима — буряки цукрові — кукурудза — кукурудза. Структура сівозміни: 60% — зернові, 20 — зернобобові, 20% — технічні. Сівозміна 2: багаторічні трави — пшениця озима — буряки цукрові — кукурудза — ячмінь з підсівом трав. Структура сівозміни: 60% — зернові, 20 — технічні, 20% — багаторічні трави. Система удобрення: без добрив, одинарна доза (1 норма — $\text{N}_{33}\text{P}_{31}\text{K}_{41}$) та подвійна доза (2 норми — $\text{N}_{66}\text{P}_{62}\text{K}_{82}$) мінеральних добрив. Зазначені дози мінеральних добрив вводилися за внесення 6 т/га гною під час вилучення побічної продукції та під час заміни гною на 6 т/га побічної продукції. Способи обробітку ґрунту: різноглибинна оранка на 22–25 см; безполіцевий обробіток на 22–25 см. Дослідження та балансові розрахунки проводили згідно з методичними рекомендаціями [4, 9]. Обчислення балансу вуглецю в агроценозах різного типу і прогнозування гумусного стану чорноземів за масою CO_2 , що виділяється, здійснено за такими потоками: C_v — маса вуглецю CO_2 , внаслідок мінералізації гумусу, т; C_p — маса вуглецю CO_2 , внаслідок мінералізації побічної продукції, поукісних і кореневих решток, т; $C_{(v+p)}$ — загальна маса вуглецю, внаслідок мінералізації, т; C_j — маса вуглецю CO_2 , внаслідок дихання ґрунтових організмів, т.

Визначення рівня забезпечення потенційної біопродуктивності культур ресурсом CO_2 проведено балансом цього ресурсу, а сам баланс органічного вуглецю визначено як різницю між надходженням $C_{\text{орг}}$ до агроценозу та його залученням із побічної продукції або гною в гумус. Витратна стаття передбачає

1. Колообіг $C_{орг}$ в агроценозах 5-пільних сівозмін для умов Лівобережного Лісостепу України

Система удобрення	Продуктивність, к.о., т	Маса побічної продукції (залишена), т	Виділено CO_2 від мінералізації, т/рік:		
			C_p	C_y	$C_{(p+y)}$
<i>Оранка — 6 т/га гною (сівозмінна — трави)</i>					
1н NPK 2н NPK	33,0–36,6	46,8–56,2	57,2–69,0	12,3–14,3	71,5–81,4
<i>Безполицевий — 6 т/га гною (сівозмінна — трави)</i>					
1н NPK 2н NPK	46,4–38,0	42,0–41,0	46,3–45,4	12,3–12,5	57,7–58,7
<i>Оранка — 6 т/га соломи (сівозмінна — трави) (1991–2010 рр.)</i>					
1н NPK 2н NPK	31,5–36,3	72,6–82,3	98,0–111	13,0–13,4	111–124
<i>Безполицевий — 6 т/га соломи (сівозмінна — трави)</i>					
1н NPK 2н NPK	32,8–35,5	72,6–78,0	93,0–100	14,8–14,9	99,0–107
<i>Оранка — 6 т/га гною (сівозмінна — горох)</i>					
Без добрив 1н NPK 2н NPK	24,9 33,6–35,0	29,5 30,0–32,0	27,0 36,0–37,3	11,3 14,8–16,0	38,0 51,0–53,3
<i>Безполицевий — 6 т/га гною (сівозмінна — горох)</i>					
Без добрив 1 норма NPK 2 норми NPK	23,4 32,0–31,4	20,4 27,1–28,3	25,0 32,7–35,0	10,3 13,3–13,7	35,3 46,0–48,7
<i>Оранка — 6 т/га соломи (сівозмінна — горох) (1991–2010 рр.)</i>					
1н NPK 2н NPK	38,2–39,2	106–103	145–139	16,2–18,5	158–161
<i>Безполицевий — 6 т/га соломи (сівозмінна — горох)</i>					
1н NPK 2н NPK	36,9–38,3	96,0–100	131–139	16,7–17,3	148–156

винесення $C_{орг}$ урожаєм, масою побічної продукції, що перейшла до CO_2 внаслідок мінералізації. Для простоти розрахунку C_p прийняли як константу для всіх варіантів.

Результати досліджень. Підтвердивши раніше отримані результати [5, 9], дослідження показали, що тип агроценозу, система удобрення, вид органічних добрив і спосіб обробітку ґрунту впливають як на баланс $C_{орг}$ в агроценозі, так і на ресурс CO_2 для забезпечення реалізації потенційної біопродуктивності культур.

Так, вуглець гумусу, який перейшов у CO_2 внаслідок мінералізації, в агроценозах з багаторічними травами за внесення гною без мінеральних добрив під час виконання оранки становив 9,31–13,3 т за вегетацію культур сівозмінні, а за безполицевого обробітку — 10,7–12,4 т (табл. 1).

У разі заміни гною на побічну продукцію за оранки емісія CO_2 не змінилася, тоді як за безполицевого обробітку емісія CO_2 зросла до 14,6–15,0 т, або більше на 120%. В агроценозах із горохом під час внесення гною за

виконання оранки емісія CO_2 від мінералізації гумусу зросла на 116% (до 15,4 т), а за безполицевого обробітку була на рівні емісії CO_2 в агроценозах з багаторічними травами. Заміна гною на побічну продукцію в агроценозі з горохом призводить до посилення емісії CO_2 на 132% за оранки і на 114% — за безполицевого обробітку. За внесення мінеральних добрив (табл. 1) маса вуглецю CO_2 від мінералізації гною та побічної продукції зростала в агроценозі з травами за оранки на 137% порівняно з безполицевим обробітком, а за використання побічної продукції — на 109%.

В агроценозі з травами під час внесення гною за оранки та безполицевого обробітку емісія CO_2 від мінералізації становила 36,7 і 33,9 т, а в сівозмінні з горохом — 142 і 135 т. Незалежно від типу агроценозу та способу обробітку заміна гною на побічну продукцію збільшує емісію вуглецю CO_2 на 166–210% (агроценоз з травами) і 387 та 398% (агроценоз з горохом).

Загальна маса вуглецю ($C_{(p+y)}$) у масі CO_2 ,

2. Вплив заміни гною побічною продукцією на продуктивність 5-пільних сівозмін та викиди CO₂ в умовах Лівобережного Лісостепу України (за накопичувальним виходом за періодами внесення органічних добрив)

Система удобрення	Вихід к.о., т		CO ₂ (мпр), т		Маса CO ₂ до к.о.	
	за внесення					
	6 т/га гною	6 т/га побічної продукції	6 т/га гною	6 т/га побічної продукції	6 т/га гною	6 т/га побічної продукції
× 10 ²						
<i>Сівозміна з горохом</i>						
<i>Оранка</i>						
1н NPK	510–525	565–585	7,7–8,0	23,7–24,2	1,52:1	4,17:1
2н NPK						
<i>Безполицевий обробіток</i>						
Без добрив	345	390	5,30	12,7	1,54:1	3,26:1
1н NPK	480–465	555–575	6,9–7,3	22,2–23,4	1,51:1	4,06:1
2н NPK						
<i>Сівозміна з травами</i>						
<i>Оранка</i>						
1н NPK	495–535	570–590	10,8–12,2	16,7–18,6	2,83:1	3,42:1
2н NPK						
<i>Безполицевий обробіток</i>						
1н NPK	570–690	540–595	8,7–8,9	14,9–16,1	1,41:1	2,74:1
2н NPK						

що надійшла від мінералізації гумусу та органічних добрив, залежала від типу агроценозу і виду органічних добрив, а тому використання побічної продукції збільшувало емісію CO₂ в агроценозі з травами на 154–177%, а в агроценозі з горохом — на 305–321%. За безполицевого обробітку загальна емісія CO₂ знижувалася в 1,32 раза за внесення гною і в 1,16 раза — за використання побічної продукції у разі агроценозу з травами та в 1,10 і 1,05 раза — за агроценозу з горохом відповідно до способів обробітку ґрунту.

Відношення загальної емісії C_(y+p) органічного вуглецю CO₂ до виходу кормових одиниць за сівозміну за кумулятивним виходом (за 15 років внесення гною та побічної продукції) залежало від виду органічних добрив, типу агроценозу та обробітку ґрунту (табл. 2). Так, у сівозміні з горохом за систематичної оранки під час внесення гною на 1 т виходу кормових одиниць приходилося 1,44–1,52 т CO₂, тоді як в агроценозі з багаторічними травами співвідношення зросло до 2,18–3,48 т CO₂ на 1 т к.о. За безполицевого обробітку емісія CO₂ на 1 т к.о. становила 1,29–1,59 т, а на контролі без унесення добрив зроста до 3,25 до 1.

Заміна гною на побічну продукцію як органічні добрива у сівозміні з горохом за оранки сприяла зростанню емісії CO₂ до 4,03–4,25 т

на 1 т виходу к.о., а за безполицевого обробітку співвідношення знижувалося до 3,26–4,07 до 1. У сівозміні з травами емісія CO₂ на 1 т виходу к.о. була нижчою на 120–125% за оранки, а за безполицевого обробітку — зростала на 147% відносно сівозміни з горохом та порівняно з оранкою знижувалася в 1,18–1,32 раза (табл. 2).

Можливість отримати потенційну продуктивність культур у сівозмінах оцінюється порівнянням потреби у вуглекислоті для формування рослинами реальної біомаси врожаю через фотосинтез та реального його надходження з різних джерел [5]. Відношення C_{орг} урожаю до загального вносу органічного вуглецю через емісію CO₂ з агроценозу у сівозміні з горохом за внесення гною при безполицевому обробітку зростає у 1,46 раза, а за внесення побічної продукції вирівнюється і становить 23–24% від загального вносу. В агроценозі з травами частка C_{орг} врожаю у загальному вносі органічного вуглецю за внесення гною на мінеральному фоні становила 56–58%, тоді як за безполицевого обробітку зроста на 111%. За внесення побічної продукції частка C_{орг} урожаю незалежно від способу обробітку вирівнювалася до значень 44–45%.

Загальна потреба у вуглекислому газі культур в агроценозах з горохом і травами за середнього рівня врожайності становить

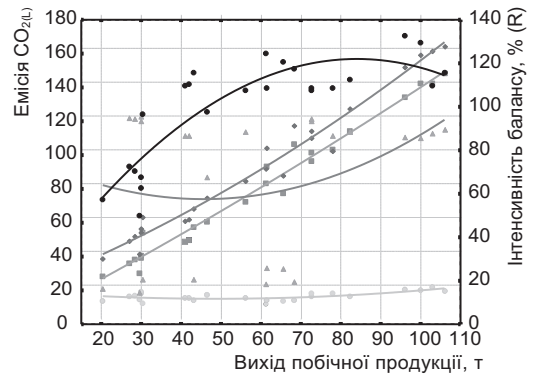
155 і 198 т за рік, а загальна емісія CO₂ за внесеного гною при мінеральному живленні становила 51–53 — за оранки та 46–50 т — за безполицевого обробітку.

Під час заміни гною на побічну продукцію в агроценозі з горохом загальна емісія CO₂ від мінералізації зростала до 158–161 т і до 148–156 т відповідно до оранки і безполицевого обробітку, а в сівозміні з травами емісія CO₂ знижувалася у 1,27–1,45 раза за оранки і в 1,38–1,56 раза — за безполицевого обробітку. Така кількість вуглекислого газу (при вмісті в атмосфері 0,03% від маси сухого повітря на рівні моря) зосереджується стовпом атмосфери до 2,0–3,0 км, що свідчить про детермінувальну роль процесів мінералізації в агроценозах як постачальників вуглекислоти для фотосинтетичної діяльності культур в агроценозах.

Між зазначеними вище параметрами балансу вуглецю виявлено кореляційні зв'язки різної сили та спрямованості (див. рисунок). Так, між к.о. та емісією CO₂ від мінералізації C_{орг} гумусу виявлено прямий кореляційний зв'язок (R=0,70±0,03; R²=0,49), а з балансом органічного вуглецю в агроценозі зв'язок був на рівні середньої оберненої кореляції (R=-0,59±0,03, R²=0,35). Між виходом побічної продукції та емісією CO₂ від її мінералізації та загальними викидами CO₂ зв'язок був прямим на рівні лінійної залежності (R=0,97–0,99±0,03; R²=0,94–0,98). Зв'язок між C_(y+p) та C_y від гумусу послаблюється до середнього рівня (R=0,55–0,57±0,03; R²=0,30–0,32), а між викидами CO₂ від мінералізації побічної продукції та загальними викидами вуглекислоти сягає лінійної залежності, що свідчить про детермінувальну роль емісії CO₂ від мінералізації побічної продукції.

Баланс органічного вуглецю в агроценозі з виходом к.о., побічної продукції, емісії CO₂ від мінералізації гумусу і побічної продукції та загальною емісією CO₂ пов'язаний оберненою кореляцією на середньому рівні (R=-0,55–0,65±0,03; R²=0,30–0,42), що визначає причинно-наслідковий зв'язок між блоками-кластерами показників колообігу органічного вуглецю.

Між інтенсивністю балансу органічної речовини гумусу та балансом органічного вуглецю встановлено пряму сильну кореляцію (R=0,70±0,03; R²=0,49), а між Іб(а) та балансом агроценозу зв'язок був оберненим (R=-0,65–0,67±0,03; R²=0,30–0,42). Чим вища продуктивність агроценозу, значніша емісія CO₂, тим вища Іб(а). Інтенсивність балансу органічної речовини гумусу прямо корелює з виходом побічної продукції, емісією CO₂ від мінералізації та загальною емісією CO₂ в агроценозі. Між балансом органічного вуглецю агроценозу та



Зв'язок між виходом побічної продукції, емісією CO₂ й інтенсивністю балансу органічного вуглецю в агроценозі та ґрунті: — емісія CO₂ (гумус), • т (L); — емісія CO₂ (побічна продукція), ▲ т (L); — емісія CO₂ загальна, ■ т (L); — Іб (аг), ◆ % (R); — Іб (гум), ● % (R)

ґрунту зв'язку не виявлено.

За внесення гною під час оранки в агроценозі з травами дефіцитність балансу CO₂ зростає, а за безполицевого обробітку — знижується через зниження коефіцієнтів мінералізації гумусу, гною та поживних залишків. Заміна гною на побічну продукцію наближає баланс CO₂ до бездефіцитного у сівозміні з горохом і малодефіцитного — у сівозміні з травами, дефіцитність якого в обох випадках доповнюється і компенсується мікробіологічним диханням ґрунту, яке становить 2,41–2,61 т за рік.

За результатами факторного аналізу баланс C_{орг} в агроценозах визначається надходженням побічної продукції, емісією CO₂ від мінералізації гумусу, побічної продукції та загальною емісією CO₂. Детермінувальним чинником оптимізації колообігу вуглецю є тип агроценозу, далі — вид органічного добрива та дози мінеральних добрив. Так, у сівозміні з горохом в окремі кластери на 26%-му рівні подібності об'єднуються варіанти видів органічного добрива, а в агроценозі з травами таке об'єднання відбувається на 45–60%-му рівні подібності. Виокремлення варіантів, де мінеральні добрива не вносилися в окремий кластер на 65%-му рівні подібності з удобреними варіантами в межах типів агроценозу, свідчить про значну роль мінеральних добрив у цих варіантах порівняно з контролем без добрив. Подібність кластеризації варіантів обробітку ґрунту в межах варіантів мінерального живлення на рівні 5–20% свідчить про неістотність за порівняння між собою, а в межах агроценозів — про істотніший вплив способу обробітку ґрунту (більшою мірою безполицевого обробітку) в агроценозі з травами за

внесення як гною, так і побічної продукції.

Стабілізуючим чинником інтенсивності колообігу органічного вуглецю є обробіток ґрунту, а завдяки регламентуванню процесу мінералізації посиленням коефіцієнтів гуміфікації є саме безполіцевий обробіток, як базовий у низьковуглецевих агротехнологіях.

Проведені розрахунки мають науково-виробниче підтвердження. Зміна режиму погоди центрального Лісостепу України (регіон Черкаської області) в бік потепління є об'єктивною реальністю: нині середньодобова температура повітря весною по відношенню значень за 1913–1976 рр. зросла на +1,7°C, літній період став теплішим на +1,8°C, а середньодобова зросла на +1,6°C, температура досягла +20,4°C за норми +18,8°C. Осінь стала теплішою на +0,5°C, а весь теплий період року — на +0,8°C. Сума активних температур за теплий період року зросла на +987°C, весни — на +85°C; літа — на +802°C, осені — на +101°C; на +256°C зросла сума ефективних температур за літній період. Кількість річних опадів перевищила норму на 81 мм, а за теплий період року — на 57 мм. Сума опадів за теплий період року становила 83 % від суми річних опадів. За даними департаменту АПВ області за 1999–2013 рр.

урожайність озимої пшениці зросла на 115 %, кукурудзи на зерно — 196%, зернових культур — на 163%, сояшнику — 350%. Відомо [6–7], що сучасні гібриди та сорти сільськогосподарських культур потребують повного забезпечення елементами живлення до потреби. Проте, дефіцитність елементів живлення відносно рекомендованих доз добрив у регіоні становить: озима пшениця— 90,0–96,0 кг. д.р., кукурудзи — 110–120 кг. д.р., сояшнику — 100–113 кг. д.р., а частка внесених азотних добрив у сумі NPK досягає — 55–70 % на фоні практично повного повернення побічної продукції на місце вирощування культур. Щорічна емісія CO₂ від мінералізації побічної продукції, яка надходить у ґрунт у якості органічних добрив, становить 6,0–6,6 млн т з площі ріллі близько 950 тис.га, що більше, ніж у період унесення гною у 1,40–1,45 рази. У виробництві застосовують технології вирощування сільськогосподарських культур, що базуються на мінімальному, поверхневому та чизельному обробітках, та які є базовими низьковуглецевих агротехнологій, а зростання продуктивності сільськогосподарських культур відбувається за рахунок, до певної міри, субтропітизації клімату центральної частини Лісостепу України.

Висновки

Детермінувальними чинниками оптимізації колообігу вуглецю є тип агроценозу, а також вид органічного добрива та дози мінеральних добрив. Нормована продуктивність агроценозів 5-пільних сівозмін становила 25,5–36,5 т кормових одиниць за наростаючим виходом, збільшуючись до значень 38,4 т та зменшуючись до 24,3 т за максимальним і мінімальним нормованими значеннями. Вихід побічної продукції становив 30,2–75,3 т, зростаючи за максимальним типовим значенням до 100 т при заміні гною на побічну продукцію. Значення продуктивності (32,9 т) та виходу побічної продукції (58,7 т) по медіанах тяжіли до максимальних типових значень, що свідчить про зростання продуктивності агроценозів за внесення побічної продукції як добрив, що характеризується додатними значеннями коефіцієнта асиметрії ($K_{ас} = 0,09$ і $0,37$) у статистичному розподілі згаданих параметрів.

Інтервал нормованої емісії CO₂ від мінералізації органічного вуглецю гумусу змінювався від 10,9 т до 14,9 т при зростанні до 16,7 т за внесення побічної продукції. Емісія вуглекислоти від мінералізації побічної продукції була вищою у 3,85–6,83 рази, ніж емісія за мінералізації гумусу, і становила 41,4–101,5 т, зростаючи

до 139 т при заміні гною на побічну продукцію. Загальна нормована емісія CO₂ становила 55,5–112,6 т, зростаючи до 155 т, а частка емісії CO₂ від мінералізації органічних добрив становила 74–90% від загальної емісії. Медіани зазначених показників тяжіли до максимально типових значень при додатних значеннях коефіцієнтів асиметрії ($K_{ас} = 0,24$ – $0,55$), що визначає посилення процесу емісії CO₂ при заміні гною на побічну продукцію. Безполіцевий обробіток (більш значною мірою за оранку) виступає регулятором витратних статей органічного вуглецю в агроценозах, посилюючи утворення стабільних органічних сполук гумусу.

Нормований баланс органічного вуглецю в агроценозах змінювався від –49,5 т до –33,7 т, зменшуючись за максимально-типовим значенням до –30,9 т та зростаючи до +51 т, а баланс органічного вуглецю гумусу за нормованим інтервалом значень змінювався від –1,42 т до +2,27 т, зростаючи до +5,03 т. Медіана балансу органічного вуглецю тяжіла до значень зростання дефіцитності балансу, тоді як медіана балансу органічного вуглецю гумусу — до додатних значень. Інтенсивність балансу органічного вуглецю в агроценозах перебувала

в інтервалі значень 20,5–89%, сягаючи значень 92% за максимальними показниками, а інтенсивність балансу органічного вуглецю гумусу при заміні гною на побічну продукцію зростала від 82 до 113%, сягаючи 122% за максимальним нормованим значенням.

Мінімальна кількість в агроценозі побічної продукції, яка забезпечує 16(г) на рівні 100%, сягає 50 т за кумулятивним виходом, або 3,3 т/га, а максимальна, коли інтенсивність балансу сягає максимального значення, становить 80 т, або 5,5 т/га. Незалежно від типу сівозміни, виду добрив та способу обробітку максимальна кількість побічної продукції у 100 т (6,6 т/га) не забезпечує 100%-го рівня 16(а), що пояснює дефіцитність балансу вуглецю в агроценозах Лівобережного Лісостепу України.

Зростання емісії вуглекислоти до приземних шарів атмосфери від мінералізації побічної продукції та гумусу слід розцінювати як явище корисне в умовах адаптивної ґрунтозахисної системи землеробства з позиції забезпечення реалізації потенційної біопродуктивності культур через посилення їхньої фотосинтетичної активності за

оптимального вологозабезпечення опадами при надлишковому тепловому ресурсі. Якщо гідрологічний фактор є лімітувальним за надлишкового теплового ресурсу при наявній інтенсивній системі землеробства, то посилення парникового ефекту є негативним явищем, яке призводить до аридизації умов вегетації культур в агроценозах та посилення емісійних потоків вуглецю в атмосферу, які не компенсуються поглинанням у процесі фотосинтезу культурами агроценозу.

У подальших дослідженнях інтенсивність обігу вуглецю слід пов'язувати з інтенсивністю мінералізації та обігу азоту з тієї причини, що чим сильніший взаємозв'язок продуктивності агроценозів від засвоєного азоту з ґрунту, тим швидші темпи поглинання викидів CO₂ від мінералізації органічних добрив та гумусу, що сприятиме накопиченню запасів органічного вуглецю в агрокосистемах за одночасного зростання продуктивності сільськогосподарських культур, тобто наростання парникового ефекту сприятиме накопиченню органічного вуглецю в агроценозах, які набувають при цьому властивостей стокових систем.

Бібліографія

1. Деякі аспекти глобальної зміни клімату в Україні: зб. стат. — К., 2009. — 346 с.
2. Дідух Я.П. Екологічні аспекти глобальних змін клімату: причини, наслідки, дії/Я.П. Дідух//Вісн. НАН України. — 2009. — № 2. — С. 34.
3. Логачова О.В. Механізми регулювання антропогенних викидів парникових газів: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. екон. наук: спец. 08.00.06 «Економіка природокористування та охорони навколишнього середовища»/О.В. Логачова. — Донецьк, 2008. — 21 с.
4. Павлик С.В. Оценка эмиссии парниковых газов из сельскохозяйственных почв при использовании различных агротехнологий: автореф. дис.: 06.01.03 Агрофизика/С.В. Павлик. — СПб., 2012. — 26 с.
5. Пономаренко С.П. Підвищення рівня утилізації CO₂ має стати реальністю на ланах України/С.П. Пономаренко, Л.А. Анішин, Л.В. Дацько//Посібник українського хлібороба. — 2014. — Т. 1. — С. 153–155.
6. Сайко В.Ф. Використання на удобрення побічної продукції рослинництва в Україні/В.Ф. Сайко//Землеробство. — К.: ВД «ЕКМО», — 2009. — Вип. 81. — С. 3–10.
7. Сайко В.Ф. Землеробство в контексті змін клімату/В.Ф. Сайко//Вибр. наук. пр. — К.: Аграр. наука, 2011. — С. 312–326.
8. Тараріко О.Г. Космічний моніторинг посушливих явищ//О.Г. Тараріко, О.В. Сиротенко, Т.В. Ільченко, В.А. Величко//Вісн. аграр. науки. — 2012. — №10. — С. 16–19.
9. Титлянова А.А. Изменение круговорота углерода в связи с различным использованием земель (на примере Красноярского края)/А.А. Титлянова, В.В. Чупрова//Почвоведение. — 2003. — № 2. — С. 211–219.
10. Третє, четверте та п'яте національне повідомлення України з питань зміни клімату. — К., 2009. — 281 с.
11. Україна та глобальний парниковий ефект: вразливість і адаптація екологічних та економічних систем до зміни клімату/[П.Ф. Букша, П.Ф. Гожик, Ж.Л. Ємельянова, І.В. Трофимова, А.І. Шерешевський]. — К.: Вид-во Агентства з раціонального використання енергії та екології, 1998. — 210 с.
12. Gregory P.J. Climat change and food security/ P.J. Gregory, J.S.I. Ingram, M. Baklaciach//Philosophical Transactions of the Royal Society. — 2005. — V. 360. — P. 2139–2148.
13. Effect of climat chang on global food production under SRES emissions and socioeconomic scenarion/ J.S. Bale, M.A. Parry Masters, C. Rosenzweig et al.// Global Environmental Change. — 2004. — V. 14. — P. 53–67.

Надійшла 27.10.2014.