



# Землеробство, грунтознавство, агрохімія

УДК 631.48

© 2024

## СЕКВЕСТРАЦІЙНА ЗДАТНІСТЬ СІВОЗМІН З ДОВГОЮ РОТАЦІЄЮ ЦЕНТРАЛЬНОЇ ЧАСТИНИ ЛІСОСТЕПУ

*О.В. Демиденко*

*доктор сільськогосподарських наук, старший дослідник*

*Черкаська державна сільськогосподарська дослідна станція*

*Національний науковий центр «Інститут землеробства НААН»*

*вул. Докучаєва, 13, с. Холоднянське Смілянського р-ну Черкаської обл., 20731, Україна*

*e-mail: smilachiapv@ukr.net*

*ORCID: 0000-0002-5334-1154*

*Надійшла 04.07.2024*

**Мета.** Установити закономірності формування обсягів емісії  $C-CO_2$  агрофітоценозами 7–10-пільних сівозмін і депонуванням діоксиду вуглецю в системі «ґрунт — атмосфера — сільськогосподарські культури» для оцінювання потенціалу секвестраційної здатності агроценозів сівозмін із довгою ротацією для умов центральної частини Лісостепу України. **Методи.** Польовий, агрохімічний (відбір зразків і визначення загального гумусу), статистично-розрахунковий (для обґрунтування достовірності отриманих результатів і розробки статистичних моделей взаємозв'язків). **Дослідження** проводили на Драбівському дослідному полі в стаціонарному досліді, який закладено в 1967 р. та налічує 29 різноротаційних сівозмін. **Результати.** За сівозмін із довгою ротацією уміст і запаси загального гумусу, вуглецю гумусу та в перерахунку на запаси  $C_r$  і  $C_{орг}-CO_2$  (у перерахунку на депонований  $CO_2$ ) у шарі 0–20 см були вищими на 0,14 і 0,08% відповідно, ніж за короткоротаційних сівозмін, у шарі ґрунту 20–30 см — на 0,13 і 0,07% відповідно до вмісту гумусу  $C_r$ , тоді як запаси  $C_r$  та  $C_{орг}-CO_2$  були рівними. У товщі 0–30 см за 7–10-пільних сівозмін уміст гумусу був вищим на 0,13%,  $C_r$  — 0,08%, запаси  $C_r$  та  $C_{орг}-CO_2$  — на 15,6 т/га порівняно із сівозмінами з короткою ротацією. За 7–10-пільних сівозмін значення параметрів гумусного стану за медіаною було вищим порівняно із середнім значенням і тяжіло до верхнього типового значення вмісту гумусу в нормованому інтервалі значень, що свідчить про зростання вмісту і запасів гумусу. Оцінним критерієм секвестраційної здатності і продуктивності сівозмін нами прийнято співвідношення між депонуванням  $C_{орг}-CO_2$  в основну продукцію до  $C-CO_2$  від мінералізації гумусу та побічної продукції. Виявлено, що  $C-CO_2$  від мінералізації змінюється в межах 18–31 т/га. **Висновки.** Депонування  $C_{орг}-CO_2$  за 7–10-пільних сівозмін

становить 31–54 т/га. Оцінним критерієм секвестраційної здатності та продуктивності прийнято співвідношення  $C_{\text{орг}}\text{-CO}_2$  до  $C_{\text{мін}}\text{-CO}_2$ , яке має перевищувати 1,5:1 на користь депонування органічного вуглецю в основну продукцію і гумус. У загальному ряду сівозмін за 7–10-пільних сівозмін найефективнішими виявилися: № 5 (50% – зернові, 20 – просапні, 30 – однорічні трави); № 9 (50% – зернові, 10 – бобові, 20 – просапні, 20% – однорічні трави); № 2 (50% – зернові, 20 – технічні, 20 – горох, 10% – однорічні трави); № 17 (40% – зернові, 20 – бобові, 30 – технічні, 10% – однорічні трави).

**Ключові слова:** мінералізація, депонування, 7–10-пільні сівозміни, гумусонакопичення, емісія, органічний вуглець, кормові одиниці.

DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202408-02>

Завдання землеробства — створення ресурсо- та енергоекономних агротехнологій з урахуванням сезонних потоків оксиду карбону, елементів живлення, вологи та енергії в ґрунтово-рослинній системі, поліпшення якості одержуваної продукції та повної реалізації потенціалу сільськогосподарських культур в агроценозах сівозмін. Для його розв'язання слід враховувати різноманітні й складні взаємовідносини між компонентами агробіогеоценозів. На родючість чорнозему позитивно впливає багато факторів, зокрема сівозмінна, застосування добрив органічного і мінерального складу та механічний обробіток ґрунту, як головний із них [1–4, О.М. Каштанов, 1999]. Завдяки сівозміні, варіюючи складом культур та їхнім чергуванням, можна керувати параметрами та режимами природних і змінених унаслідок господарської діяльності потоків вуглецю, макро- і мікроелементів та енергії. Роль сівозміни як чинника біологізації землеробства в розв'язанні актуальних завдань із відтворення родючості ґрунту, підтримання сприятливого фітосанітарного стану полів, одержання продукції, що відповідає екологічним вимогам, значно зростає зі збільшенням рівня інтенсифікації землеробства [5].

Змінюючи співвідношення посівних площ різних польових культур у сівозміні, можна управляти обсягами та якістю депонованої органічної речовини, що надходить із рослинними рештками. Їх кількість може бути істотно збільшеною за рахунок

розширення посівів багаторічних трав, проміжних культур, зайнятих парів, тоді як збільшення питомої маси просапних культур, чистих парів у сівозміні призводить до різкого зниження надходження рослинних решток у ґрунт [6–11].

У зв'язку з реальним потеплінням клімату в лісостеповій зоні України, частково пов'язаним зі збільшенням концентрації діоксиду вуглецю в повітрі, погіршуються умови вегетації сільськогосподарських культур [12–14].

Велике агроекологічне значення має зменшення концентрації  $\text{CO}_2$  в атмосфері, взаємопов'язаної зі станом ґрунтів і рослинності в природних екосистемах та агроценозах. В агробіосфері діє схема регулювання концентрації  $\text{CO}_2$  в компонентах агроландшафту. В атмосфері збільшується концентрація  $\text{CO}_2$ , створюється парниковий ефект, відбуваються потепління, інтенсифікація дернового процесу, збільшення площі чорноземів з підвищеним умістом гумусу. Унаслідок цього концентрація  $\text{CO}_2$  в атмосфері зменшується, посилюються видоутворення, аридизація, мінералізація гумусу, і знову діоксид вуглецю надходить в атмосферу [15–19].

Слід зауважити, що на культури агроценозу припадає найбільша частка асимільованого діоксиду вуглецю, який у складі вегетативної маси рослин після відповідної трансформації накопичується в ґрунтах у формах, які унеможливають його емісію у вигляді  $\text{CO}_2$ , тобто секвеструється

(sequestration). З урахуванням зазначеного й важливої очищувальної функції атмосфери сільськогосподарськими культурами в комплексі з ґрунтами їх роль у формуванні стоку  $\text{CO}_2$  з атмосфери з подальшою його трансформацією в ґрунті не до кінця вивчена [20].

**Мета досліджень** — установити закономірності формування обсягів емісії  $\text{C-CO}_2$  агрофітоценозами 7–10-пільних сівозмін і депонуванням діоксиду вуглецю в системі «ґрунт — атмосфера — сільськогосподарські культури» для оцінювання потенціалу секвестраційної здатності агроценозів сівозмін із довгою ротацією для умов центральної частини Лісостепу України.

**Матеріал та методи досліджень.** Дослідження виконували в центральній частині Лівобережного Лісостепу України в довготерміновому стаціонарному досліді Драбівського дослідного поля Черкаської державної сільськогосподарської дослідної станції ННЦ «Інститут землеробства НААН» у 2013–2023 рр. Дослід розміщено на чорноземі типовому малогумусному крупнопилувато-легкосуглинковому з вмістом гумусу 3,8–4,2%, рухомого фосфору — 120–140 мг/1000 г ґрунту, рухомого калію — 80–100 мг/1000 г ґрунту,  $\text{pH}_{\text{сол}}$  — 6,8–7,0. Системи удобрення культур передбачають такі дози добрив: пшениця озима, кукурудза, ячмінь ярий, пшениця яра, соя —  $\text{N}_{60}\text{P}_{60}\text{K}_{60}$ , горох —  $\text{N}_{20}\text{P}_{40}\text{K}_{40}$ , соняшник —  $\text{N}_{40}\text{P}_{40}\text{K}_{40}$ , буряки цукрові —  $\text{N}_{100}\text{P}_{100}\text{K}_{100}$ . У 2000–2020 рр. — як органічне добриво використовували всю побічну продукцію, у середньому — 7 т/га. Спосіб обробітку в сівозмінах — диференційований. Вихід структури фітомаси визначали за Ф.І. Левіним, запас азоту в структурі фітомаси — за А.В. Івойловим. Для дослідження змін агрохімічних, фізико-хімічних та агрофізичних показників при вивченні поживного режиму, гумусного та агрофізичного станів відбирали змішані зразки згідно з ДСТУ 7030:2009 (ГСТУ 46.001-96). Уміст загального гумусу визначали за Тюрнімом у модифікації Сімакова (ДСТУ 4289:2004).

Накопичення кількості оксиду карбону ( $\text{C}_{\text{орг}}-\text{CO}_2$ ) розраховували за [20]:

урожайністю культур у різноротаційних сівозмінах; виходом побічної продукції, післяжнивних решток і коренів культур у сівозмінах згідно з рівняннями регресії [21, 22], наведеними для низького й високого рівнів урожайності, оскільки кількість рослинних залишків не завжди залежить від збільшення врожаю; виходом сухої речовини з отриманої маси [21]; умістом вуглецю в масі побічної продукції, стерні і коренях з перерахунком в оксид карбону ( $\text{C}_{\text{орг}}-\text{CO}_2$ ) (коефіцієнт 3,7); кількістю гумусу ( $\text{C}_r$ ), утвореного як резервуар вуглецю залежно від рівня надходження в ґрунт соломи, побічної продукції та маси кореневої системи рослин [22]. Структуру 7–10-пільних сівозмін наведено в табл. 1.

Запропонований підхід до розрахунків щодо введення в обіг післяжнивних решток і коренів рослин міститься в Керівних принципах МГЕЗК [23]. На відміну від інших підходів [24, 25], цей метод враховує надходження складових надземних і підземних залишків у ґрунт. Узагальнення матеріалів і розрахунки результатів досліджень проводили за «Методом дисперсійного аналізу» і програмою «STATISTICA».

**Результати досліджень.** Середній уміст гумусу в шарі ґрунту 0–20 см за 7–10-пільних сівозмін становив 3,87%, що на 0,14% вище, ніж за короткоротаційних сівозмін. Уміст  $\text{C}_r$  за довгострокових сівозмін — 2,25% проти його умісту в короткоротаційних 2,17% (–0,08%). Амплітудний розмах умісту гумусу в шарі ґрунту 0–20 см за 7–10-пільних сівозмін був  $\Delta_a=0,94\%$ ,  $\text{C}_r$  — 1,29%, що в 1,96 та 4,61 раза вище, ніж за сівозмін із короткою ротацією. Нормований розмах умісту загального гумусу та  $\text{C}_r$  за 7–10-пільних сівозмін становив:  $\Delta_n=0,24-0,29\%$  та  $\Delta_{n(\text{ст.})}=0,14-0,19\%$ . Нормований розмах за 10%-м рівнем вірогідності —  $\Delta_n=0,83\%$  (табл. 2).

Стандартне відхилення умісту загального гумусу та  $\text{C}_r$  за 7–10-пільних сівозмін було вдвічі вищим порівняно з короткоротаційними сівозміними, а  $\text{Coef. var.}$  за довгоротаційних сівозмін становив 7,93%, за короткоротаційних — був у 1,95 раза

1. Структура 7–10-пільних зернопросапних сівозмін у багаторічному стаціонарному досліді

Варіант	Структура сівозміни	Продуктивність за виходом, т/га		Уміст гумусу в шарі ґрунту 0–30 см, %
		кормових одиниць, к. од.	кормо-протеїнових одиниць, к. п. од.	
18*	50% — зернові, 10 — бобові, 20 — просапні, 20% — однорічні трави без унесення добрив	4,43	3,97	3,35
5	50% — зернові, 20 — просапні, 30% — однорічні трави	5,51	4,95	4,01
17	40% — зернові, 20 — бобові, 30 — технічні (20% — соняшник, 20% — буряки цукрові), 10% — однорічні трави	5,87	5,48	3,18
12	40% — зернові, 10 — буряки цукрові, 30 — однорічні трави, 10% — горох	6,08	5,69	3,45
7	50% — зернові, 10 — бобові, 30 — просапні (10% — соя, 20% — буряки цукрові), 10% — однорічні трави	6,61	5,86	3,79
14	70% — зернові, 10 — бобові, 20 — технічні (10 — соя, 20% — буряки цукрові)	6,67	5,99	3,68
9	50% — зернові, 10 — бобові, 20 — просапні, 20% — однорічні трави з унесенням добрив	6,73	6,02	4,04
8	50% — зернові, 30% (соя — 10, соняшник — 10, буряки цукрові — 10); 20% — однорічні трави	7,03	6,42	4,21
2*	50% — зернові, 20 — буряки цукрові, 20 — горох, 10% — однорічні трави	7,47	6,54	3,86
16**	56% — зернові (28 — пшениця озима), 43% — технічні (14 — буряки цукрові, 14 — соя, 14 — соняшник), 14% — однорічні трави	5,03	5,07	3,98
13**	72% — зернові (44 — кукурудза), 14% — буряки цукрові, 14% — однорічні трави	6,93	5,82	3,79
	НІР <sub>0,05</sub>	0,62	0,56	0,03

\* 10-пільні сівозміни; \*\* 7-пільні сівозміни.

меншим. Асиметрія нормального розподілу загального гумусу та  $C_r$  у сівозмінах із довгою ротацією була правостороння з підвищеним рівнем, у сівозмінах із короткою ротацією — лівостороння слабка ( $A_s < 0,55$ ).

Експес у першому випадку був приплюснутим, у другому — слабгостровершинним, що характеризує розподіл умісту гумусу та  $C_r$  з відхиленням від нормального розподілу з протилежним характером самого розподілу, що характеризує процес збагачення гумусом і  $C_r$  за 7–10-пільних сівозмін, та з оптимальним

накопиченням за сівозмін із короткою ротацією. Запас  $C_r$  у шарі 0–20 см за 7–10-пільних сівозмін становив 28,1 т/га за амплітудного розмаху  $\Delta_a = 6,8$  т/га, нормованого розмаху —  $\Delta_n = 1,9$  т/га (50%) та  $\Delta_n = 6$  т/га (10%) за коефіцієнта варіації 7,77% із посиленою правосторонньою асиметрією та плосковершинним статистичним розподілом [26].

Середній запас депонованого  $C_r$ -CO<sub>2</sub> у шарі ґрунту 20–30 см за 7–10-пільних сівозмін був 104 т/га, за короткоротаційних сівозмін він був меншим на 4,7 т/га. Причому амплітудний розмах за сівозмін

2. Нормовані параметри гумусного стану чорнозему типового в сівозмінах різного типу

Показник	Середнє	Mediana	Min	Max	Нормований розмах				Коефіцієнт, Coef.Var., %	Коефіцієнт		
					L <sub>0,25</sub>	L <sub>0,75</sub>	L <sub>0,10</sub>	L <sub>0,90</sub>		асиметрії	ексцесу	
					$\Delta_a = \text{Max} - \text{Min}$		$\Delta_n = L_{0,75} - L_{0,25} (50\%)$					$\Delta_n = L_{0,90} - L_{0,10} (10\%)$
<i>0–20 см</i>												
<i>7–10-пільні</i>												
Гумус, %	3,87	3,92	3,30	4,24	3,77	4,06	3,36	4,19	7,93	–0,87	0,32	
C <sub>r</sub> , %	2,25	2,28	1,92	2,47	2,19	2,36	1,95	2,43	7,93	–0,87	0,32	
C <sub>r</sub> , т/га	28,1	28,6	24,1	30,9	27,5	29,4	24,5	30,5	7,77	–0,87	0,40	
C <sub>r</sub> -CO <sub>2</sub> , т/га	104	105	89,1	114,4	101	108	90,6	112,7	7,77	–0,87	0,40	
<i>20–30 см</i>												
<i>7–10-пільні</i>												
Гумус, %	3,67	3,57	3,21	4,17	3,48	4,01	3,25	4,14	9,02	0,29	–1,06	
C <sub>r</sub> , %	2,13	2,08	1,87	2,42	2,02	2,33	1,89	2,41	9,02	0,29	–1,06	
C <sub>r</sub> , т/га	26,9	26,2	23,5	30,6	25,5	29,4	23,8	30,3	9,02	0,29	–1,06	
CO <sub>2</sub> , т/га	99,5	96,8	87,0	113,0	94,3	108	88,1	112	9,02	0,29	–1,06	
<i>0–30 см</i>												
<i>7–10-пільні</i>												
Гумус, %	3,80	3,86	3,28	4,21	3,68	4,01	3,31	4,06	7,70	–0,80	0,05	
C <sub>r</sub> , %	2,21	2,24	1,91	2,45	2,14	2,33	1,92	2,36	7,70	–0,80	0,05	
C <sub>r</sub> , т/га	83,6	84,8	72,1	92,5	80,9	88,1	72,7	89,2	7,70	–0,80	0,05	
C <sub>r</sub> -CO <sub>2</sub> , т/га	309	313	266	342	299,2	326,1	269,2	330,1	7,70	–0,80	0,05	

Примітка. НІР<sub>0,5</sub> по середньому значенню: загальний гумус у шарах 0–20 см — 0,07%; 20–30 см — 0,08%; 0–30 см — 0,09%; C<sub>r</sub>-CO<sub>2</sub> — 5,0 т/га (0–20 см); 5,3 т/га (20–30 см); 9,5 т/га (0–30 см).

з довгою ротацією був на рівні 25,3 т/га проти 12,8 т/га за сівозмін з короткою ротацією. Нормований розмах за 50%-м рівнем значущості в першому випадку становив  $\Delta_n = 7,1$  т/га, за 10%-м рівнем —  $\Delta_n = 22,1$  т/га, тоді як за короткоротаційних сівозмін ці показники були меншими в 1,1 та 2 рази, що впливало на коефіцієнт варіації запасу C<sub>r</sub>-CO<sub>2</sub>, який за сівозмін із довгою ротацією був вищим у 1,91 раза.

Середній уміст загального гумусу та C<sub>r</sub>-CO<sub>2</sub> в шарі 20–30 см за 7–10-пільних сівозмін становив 3,67 та 2,13% за амплітудного розмаху  $\Delta_{a(3.r.)} = 0,96\%$  та  $\Delta_{a(cr)} = 0,55\%$ , нормованого розмаху —  $\Delta_{n(3.r.)} = 0,53\%$ ,  $\Delta_{n(cr)} = 0,31\%$  (50%) та  $\Delta_{n(3.r.)} = 0,89\%$ ,  $\Delta_{n(cr)} = 0,52\%$  (10%). Коефіцієнт варіації був 9,02%.

Середній запас C<sub>r</sub>-CO<sub>2</sub> за сівозмін із довгою ротацією був 26,9 т/га, запас депонованого C<sub>r</sub>-CO<sub>2</sub> — 99,5 т/га. Амплітудний

розмах становив 7,1 т/га і 26,0 т/га, за нормованого розмаху з 50%-м і 10%-м рівнем значущості  $\Delta_n = 3,9$  т/га і  $\Delta_n = 6,5$  т/га та  $\Delta_n = 14,4$  т/га і  $\Delta_n = 24,2$  т/га відповідно.

Асиметрія розподілу запасів C<sub>r</sub> та C<sub>r</sub>-CO<sub>2</sub> за сівозмін із довгою ротацією була в межах нормального розподілу зі слабвираженою правою асиметрією, за короткої ротації — навпаки, була зі значним відхиленням від нормального розподілу, що характеризує збільшення запасів C<sub>r</sub> і C<sub>r</sub>-CO<sub>2</sub> в першому випадку та зменшення запасів органічної речовини гумусу — у другому. За коефіцієнтом ексцесу в сівозмінах із довгою ротацією проявився плосковершинний розподіл, з короткою ротацією — гостровершинний розподіл.

Запас C<sub>r</sub> і C<sub>r</sub>-CO<sub>2</sub> за 7–10-пільних сівозмін був на рівні 83,6 та 309,2 т/га за амплітудного розмаху 20,4 т/га та 75,6 т/га, розмах нормованих запасів становив 7,2

і 26,9 т/га (50%) та 16,5 і 60,9 т/га (10%). Асиметрія та ексцес розподілу відповідали вмісту загального гумусу і  $C_r$ , що свідчить про інтенсивне депонування органічного вуглецю за 7–10-пільних сівозмін.

На рис. 1 показано ранжування 7–10-пільних сівозмін за продуктивністю депонування  $C_{орг}-CO_2$  в основну продукцію з прив'язкою параметрів складових балансу  $CO_2$ . Збільшення депонування  $C_{орг}-CO_2$  в основну продукцію супроводжується збільшенням параметрів балансу. Ряди зростання депонування  $C_{орг}-CO_2$  в основну продукцію описуються експоненціальним рівнянням на достовірному рівні:  $R^2=0,47-0,89$ .

У рівнянні зростання ємності балансу ( $E_6$   $C-CO_2$ ) за 7–10-пільних сівозмін коефіцієнт регресії при змінній  $X$  і вільний член рівняння вищі в 1,16 та 1,28 раза, ніж за 3–5-пільних сівозмін. У рівняннях зміни ємності балансу за 7–10-пільних сівозмін коефіцієнти регресії в 1,9 раза вищі, ніж за 3–5-пільних сівозмін, що свідчить про інтенсивніше зниження  $I_6$  за 7–10-пільних сівозмін [27].

Типізація параметрів балансу депонування  $C_{орг}-CO_2$  та виносу  $C-CO_2$  в 7–10-пільних сівозмінах показала, що середнє депонування  $C_{орг}-CO_2$  загальною фітомасою ( $3_{ф}$ ) становить 42,5 т/га, за медіанним значенням — 44,3 т/га. Амплітудний розмах  $\Delta_a=26,8$  т/га (коефіцієнт осциляції становить  $K_{ос}=0,63$ ), нормований розмах —  $\Delta_n=15,5$  т/га за коефіцієнта варіації 20,5%. За коефіцієнтом асиметрії розподіл вибірки є правостороннім —  $A_s>0,5$ , ексцес —  $E_s<3$ , що близько до нормального.

Депонування  $C_{орг}-CO_2$  до основної продукції за 7–10-пільних сівозмін у середньому становило 19,8 т/га за амплітудного розмаху  $\Delta_a=32,9$  т/га (коефіцієнт осциляції  $K_{ос}=0,60$ ), нормованого розмаху  $\Delta_n=10,2$  т/га за коефіцієнта варіації — 46,3%. За асиметрією розподіл у вибірці є лівостороннім високого рівня відхилення, ексцес  $A_s>3$ , що відповідає гостровершинному розподілу зі значним відхиленням від нормального.

Співвідношення депонування  $C_{орг}-CO_2$  до загальної фітомаси до  $C_{орг}-CO_2$  в ос-

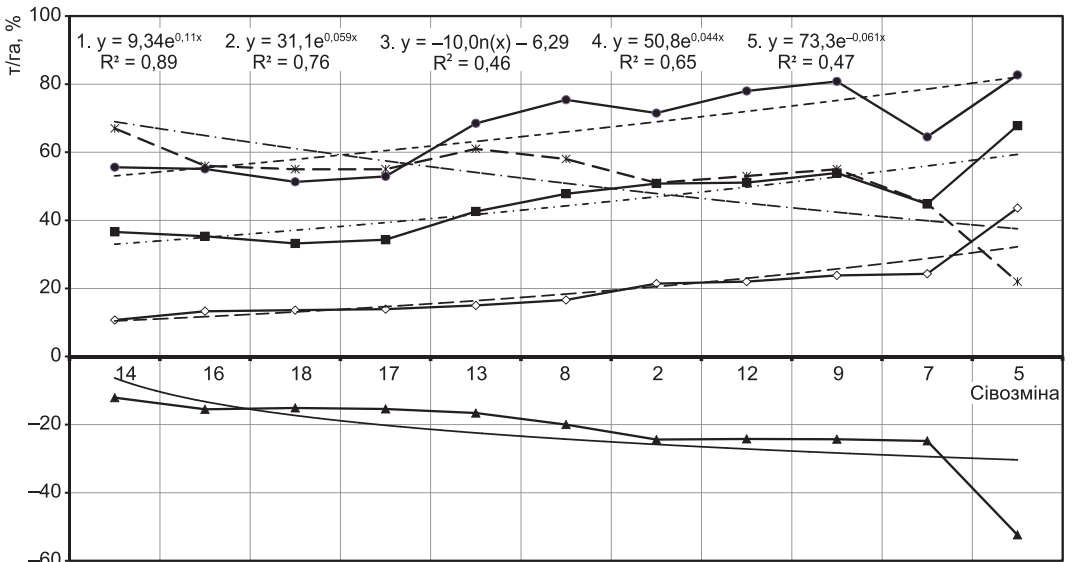


Рис. 1. Ранжування складових обігу оксиду карбону по зростаючій продуктивності 7–10-пільних сівозмін:  $\diamond$  — 1.  $CO_2$  — основна продукція, т/га;  $\blacksquare$  — 2. Винос  $CO_2$  разом, т/га;  $\blacktriangle$  — 3. Баланс  $CO_2$ , т/га;  $\bullet$  — 4. Ємність балансу  $CO_2$ , т/га;  $\times$  — 5. Інтенсивність балансу, %; --- — Експоненціальна (1.  $CO_2$  — основна продукція, т/га); - - - — Експоненціальна (2. Винос  $CO_2$  разом, т/га); — — — — Логарифмічна (3. Баланс  $CO_2$ , т/га); - - - — Експоненціальна (4. Ємність балансу  $CO_2$ , т/га); - - - — Експоненціальна (5. Інтенсивність балансу, %)

новну продукцію в сівозмінах із довгою ротацією становило 2,15:1, у короткоротаційних сівозмінах — 2,86:1, що в 1,34 раза більш звужено.

Винос C-CO<sub>2</sub>, що передбачає мінералізацію побічної фітомаси і винос основною продукцією, в сівозмінах із довгою ротацією становив 45,3 т/га за  $\Delta_a=34,6$  т/га (коефіцієнт осциляції  $K_{oc}=0,76$ ) та  $\Delta_n=15,8$  т/га за коефіцієнта варіації 23,2%. За асиметрією та ексцесом розподіл вибірки був близьким до нормального (табл. 3). Середній баланс ( $B_{CO_2}$ ) в 7–10-пільних сівозмінах становив  $B_{CO_2}=-22,3$  т/га за  $\Delta_a=-40,9$  т/га ( $K_{oc}=1,83$ ), за нормованого розмаху  $\Delta_n=-9,0$  т/га. Коефіцієнт варіації був 49,5%. За асиметрією та ексцесом розподіл був правостороннім із гостровершинним характером, що свідчить про значне відхилення балансу від нормального статистичного розподілу.

За сівозмін із довгою ротацією ємність балансу ( $E_6$ ) C-CO<sub>2</sub> становила  $E_6=66,9$  т/га за амплітудного розмаху  $\Delta_a=31,4$  т/га ( $K_{oc}=0,47$ ) та  $\Delta_n=22,9$  т/га, за коефіцієнта варіації — 17,5%. За асиметрією та ексцесом розподіл вибірки  $E_6$  наближався до нормального. За сівозмін

з короткою ротацією  $E_6$  C-CO<sub>2</sub> була меншою в 1,15 раза, за амплітудним розмахом — вищою в 1,5 раза, за нормованого розмаху — нижчою в 1,73 раза порівняно з довгоротаційними сівозмінами. Коефіцієнт варіації  $E_6$  C-CO<sub>2</sub> за 3–5-пільних сівозмін був вищим в 1,42 раза за асиметрією та ексцесом, близьким до нормального. За сівозмін із довгою ротацією інтенсивність балансу C-CO<sub>2</sub> ( $I_6$ ) у середньому становила 52,6% за  $\Delta_a=45\%$  та  $\Delta_n=7\%$ , за коефіцієнта варіації — 21,9%. За асиметрією розподіл був правостороннім, що свідчить про значне відхилення балансу від нормального статистичного розподілу його параметрів.

Депонування C<sub>орг</sub>-CO<sub>2</sub> в основну продукцію в середньому становило 14,4 т/га за  $\Delta_a=39,9$  т/га,  $\Delta_n=10,3$  т/га,  $K_{oc}=2,77$ , за коефіцієнта варіації — 29,1% з розподілом вибірки за нормальним характером. Співвідношення C<sub>орг</sub>-CO<sub>2</sub> загальної фітомаси до C<sub>орг</sub>-CO<sub>2</sub> основної продукції в середньому становило 2,55:1.

Середній винос C-CO<sub>2</sub> був 39,9 т/га за  $\Delta_a=49,4$  т/га,  $\Delta_n=12,6$  т/га,  $K_{oc}=1,23$  за коефіцієнта варіації — 29,1% та за нормального розподілу виносу CO<sub>2</sub>.

### 3. Типізовані параметри балансу депонування C<sub>орг</sub>-CO<sub>2</sub> та виносу C<sub>мін</sub>-CO<sub>2</sub> в різноротаційних сівозмінах різного типу

Параметр	Запас, т/га						Коефіцієнт		
	Середнє	Медіана	Min	Max	L <sub>0,25</sub>	L <sub>0,75</sub>	варіації, %	асиметрії, As	ексцесу, Es
			$\Delta_a=\max-\min$	$\Delta_n=L_{0,75}-L_{0,25}$					
<i>7–10-пільні сівозміни</i>									
C <sub>орг</sub> -CO <sub>2</sub> — ЗФ, т/га	42,5	44,3	31,7	58,5	33,1	48,6	20,5	-0,74	1,28
C <sub>орг</sub> -CO <sub>2</sub> — ОП, т/га	19,8	16,6	10,7	43,6	13,6	23,8	46,3	1,89	4,42
Винос C-CO <sub>2</sub> разом, т/га	45,3	44,8	33,2	67,8	35,3	51,1	23,2	0,81	0,61
Баланс CO <sub>2</sub>	-22,3	-20,0	-52,4	-12,1	-24,4	-15,4	-49,5	-2,31	6,38
E <sub>6</sub> CO <sub>2</sub> , т/га	66,9	68,5	51,3	82,7	55,1	78,0	17,5	-0,08	-1,70
I <sub>6</sub> CO <sub>2</sub> , %	52,6	55,0	22,0	67,0	51,0	58,0	21,9	-1,99	5,37

Примітка.  $\Delta_a = \max - \min$  — амплітудний розмах;  $\Delta_n = L_{0,75} - L_{0,25}$  — нормований розмах; L<sub>0,75</sub> та L<sub>0,25</sub> — верхній і нижній квартилі. ЗФ — загальна фітомаса; ОП — основна продукція; E<sub>6</sub> C-CO<sub>2</sub> — ємність балансу, т/га; I<sub>6</sub> C-CO<sub>2</sub> — інтенсивність балансу, %.

НІР<sub>0,5</sub> по середньому значенню: C<sub>орг</sub>-CO<sub>2</sub> — ЗФ — 10,3 т/га; C<sub>орг</sub>-CO<sub>2</sub> — ОП — 8,0 т/га; винос C-CO<sub>2</sub> разом — 8,0 т/га; баланс C-CO<sub>2</sub> — 7,5 т/га; E<sub>6</sub> C-CO<sub>2</sub> — 8,0 т/га; I<sub>6</sub> CO<sub>2</sub> — 10,0%.

Баланс  $C-CO_2$  в середньому становив  $B_{CO_2} = -17,4$  т/га за  $\Delta_a = -43$  т/га ( $K_{oc} = 2,47$ ),  $\Delta_h = 11,4$  т/га, за коефіцієнта варіації — 58,9%. За асиметрію розподіл був із сильновираженим правостороннім відхиленням і гостровершинним характером, що свідчить про відхилення від нормального розподілу.

Середня величина  $E_6$   $C-CO_2$  становила 61,5 т/га, за  $\Delta_a = 51,7$  т/га,  $\Delta_h = 18,2$  т/га, за коефіцієнта варіації — 22,6%. За асиметрію та ексцесом розподіл вибірки був близьким до нормального. Інтенсивність балансу в середньому для сівозмін становила 59,4% за  $\Delta_a = 67,0\%$ ,  $\Delta_h = 15,5\%$ , за коефіцієнта варіації — 21,7%. За асиметрію розподіл  $I_6$  був близьким до нормального, а  $E_6$  розподіл слабгостровершинним. У середньому на одиницю депонування  $C_{орг}-CO_2$  в основну продукцію припадало 2,71 одиниці вносу  $C-CO_2$  та 2,53 одиниці  $C-CO_2$  загальної фітомаси. За 7–10-пільних сівозмін співвідношення становило 2,27:2,15:1, за 3–5-пільних сівозмін — 3,38:2,86:1.

У сівозмінах із довгою ротацією на одиницю зростання  $C-CO_2$  в основній продукції припадало 1,04 одиниці загального вносу  $C-CO_2$  за межі агроценозу. Частка участі зазначеної взаємодії в загальній сукупності становила 67–83%. За 7–10-пільних сівозмін на одиницю зростання депонування  $C_{орг}-CO_2$  в основну продукцію дефіцит балансу  $C-CO_2$  зростав на 1,19 одиниці. У сівозмінах із довгою ротацією на одиницю зростання депонування  $C_{орг}-CO_2$  в основну продукцію припадає 0,92 одиниці зростання ємності балансу  $C-CO_2$ . У 7–10-пільних сівозмінах між зазначеними параметрами встановлено пряму сильну кореляцію ( $R > 0,70$ ). У 7–10-пільних сівозмінах на одиницю зростання депонування  $C_{орг}-CO_2$  в основну продукцію припадає зниження  $I_6$   $C-CO_2$  на 1,18 одиниці.

Між депонуванням  $C_{орг}-CO_2$  у загальну фітомасу культур 7–10-пільних сівозмін і депонуванням  $C_{орг}-CO_2$  в основну продукцію встановлено пряму сильну кореляцію ( $R = +0,88 \pm 0,02$ ,  $R^2 = 0,77$ ), а на 1 т зростання загальної фітомаси припадає 0,93 т/га

депонування  $C_{орг}-CO_2$  в основну продукцію.

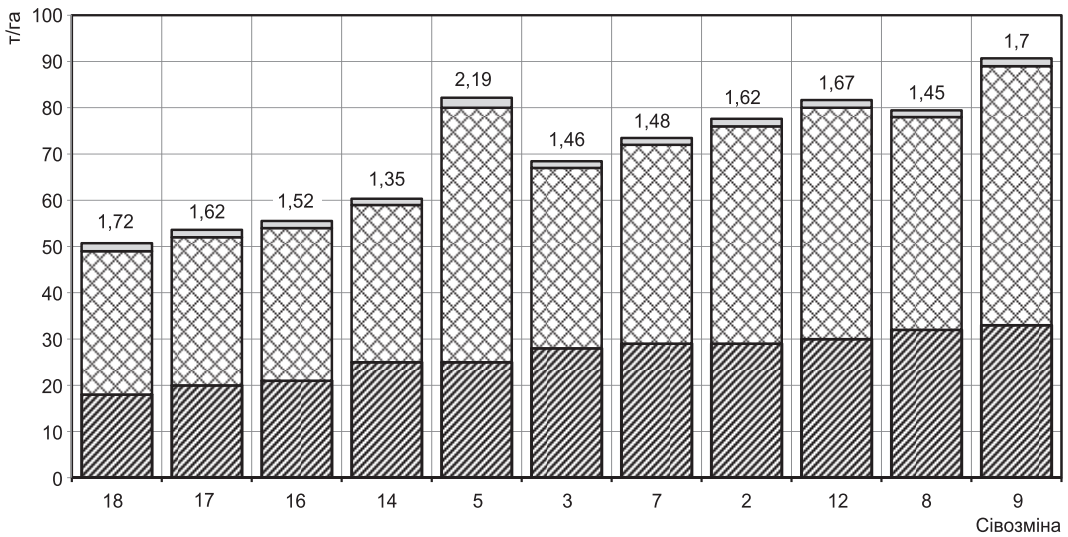
У 7–10-пільних сівозмінах між депонуванням  $C_{орг}-CO_2$  в загальну фітомасу та побічну продукцію кореляційний зв'язок був на низькому рівні ( $R < 0,50$ ), а коефіцієнт детермінації становив  $R^2 = 0,12$ .

У сівозмінах із довгою ротацією між депонуванням  $C_{орг}-CO_2$  в загальну фітомасу та мінералізацією (емісією)  $C-CO_2$  побічної продукції встановлено пряму кореляцію на середньому рівні ( $R = 0,56 \pm 0,02$ ,  $R^2 = 0,31$ ). На одиницю зростання депонування  $C_{орг}-CO_2$  у загальну фітомасу емісія  $C-CO_2$  від мінералізації побічної продукції збільшилася на 0,21 т/га.

Між депонуванням  $C_{орг}-CO_2$  в загальну фітомасу та емісією оксиду карбону від мінералізації гумусу за 7–10-пільних сівозмін кореляція становила  $R = +0,69 \pm 0,02$ ,  $R^2 = 0,48$ , що свідчить про емісію  $C-CO_2$  від мінералізації гумусу на високому рівні.

Між депонуванням  $C_{орг}-CO_2$  в загальну фітомасу та виносом  $C-CO_2$  з основної продукції (між реалізацією побічної фітомаси та гумусу) за 7–10-пільних сівозмін встановлено пряму сильну кореляцію ( $R = 0,87 - 0,89 \pm 0,02$ ,  $R^2 = 0,76 - 0,79$ ), а на одиницю зростання  $C-CO_2$  загальної фітомаси припадало 1,19 одиниці загального вносу  $C-CO_2$ , (рис.2).

Депонування  $C_{орг}-CO_2$  в загальну фітомасу корелювало з балансом  $C-CO_2$  в короткоротаційних сівозмінах на рівні оберненої сильної кореляції ( $R = -0,86 \pm 0,02$ ,  $R^2 = 0,74$ ), а на одиницю зростання депонування  $C_{орг}-CO_2$  в загальну фітомасу припадало зростання дефіцитності балансу  $C-CO_2$  на 1,08 одиниці оксиду карбону. За короткоротаційних сівозмін коефіцієнт кореляції становив  $R = -0,79 \pm 0,02$ ,  $R^2 = 0,62$ , а коефіцієнт регресії при змінній знизився в 1,38 раза, що свідчить про низькі темпи зростання дефіцитності балансу  $C-CO_2$  за короткоротаційних сівозмін. Між депонуванням у загальну фітомасу та ємністю балансу в 7–10-пільних сівозмінах встановлено пряму сильну кореляцію:  $R = +0,96 \pm 0,02$ ,  $R^2 = 0,92$ . На одиницю зростання депонування в загальну фітомасу припадало зростання ємності балансу на 1,29 одиниці. Інтенсивність



**Рис. 2.** Ранжування продуктивності 7–10-пільних сівозмін за співвідношенням С-СО<sub>2</sub> мінералізації до С<sub>орг</sub>-СО<sub>2</sub> депонування в основну продукцію для умов Центрального Лісостепу: — С-СО<sub>2</sub> (мінералізація, т/га); — С-СО<sub>2</sub> (депонування, т/га); — С-СО<sub>2</sub> (депонування) до СО<sub>2</sub> (мінералізація, т/га)

балансу за 7–10-пільних сівозмін корелювала з депонуванням вуглецю в загальну фітомасу на рівні оберненої сильної кореляції.

Депонування С<sub>орг</sub>-СО<sub>2</sub> в загальну фітомасу корелювало з емісією від мінералізації побічної продукції за прямою сильною кореляцією (R=0,75); з емісією С-СО<sub>2</sub> від мінералізації гумусу був середній рівень кореляції, із загальним виносом С-СО<sub>2</sub> — рівень прямої сильної кореляції. Коефіцієнти регресії становили відповідно 0,56 т/га, 0,054 та 1,15 т/га. Депонування С<sub>орг</sub>-СО<sub>2</sub> в загальну фітомасу корелювало з балансом С-СО<sub>2</sub> за оберненим середнім зв'язком, з ємністю балансу — сильним прямим зв'язком, з I<sub>6</sub> — оберненим сильним кореляційним зв'язком.

Оцінним критерієм продуктивності сівозмін визначено співвідношення між емісією (мінералізацією) С-СО<sub>2</sub> і депонуванням С<sub>орг</sub>-СО<sub>2</sub> в основну продукцію. Вилучення С-СО<sub>2</sub> за межі агроценозу незалежно від типу сівозмін становить 31–22 т/га, тоді як співвідношення депонованого С<sub>орг</sub>-СО<sub>2</sub> до основної продукції є критерієм ефективності сівозмін. На рис. 2 показано загальну залежність

між параметрами обігу С-СО<sub>2</sub> та депонуванням С<sub>орг</sub>-СО<sub>2</sub> в основну продукцію. Найефективнішими сівозмінами є 7–10-пільні сівозміни за номерами: № 5, № 2, № 12, № 9, де співвідношення перевищує 1,5:1.

Проведена кластеризація 7–10-пільних сівозмін за продуктивністю (виходом к. од. та вмістом гумусу в шарі ґрунту 0–30 см) дала змогу згрупувати сівозміни в кілька кластерів на достовірному рівні, де міра подібності загальної кластеризації була меншою за 50%. Лише сівозміна № 5 була за межами 50%-го рівня подібності. Найменш продуктивними за виходом к. од. були сівозміни № 17, № 18к, № 16 (перший кластер) з умістом гумусу в ґрунті 3,18–3,98% та продуктивністю виходу к. од. 4,31–5,87 т/га. Відокремленою була сівозміна № 14, яка характеризувалася невисоким умістом гумусу (3,68%) і значним виходом к. од. — 6,67 т/га, що свідчить про негативний вплив сівозміни на зростання вмісту гумусу. Кластеризація з першим кластером сівозмін була на рівні 30%. Кластер № 2 містить у собі сівозміни № 9, № 12, № 2, № 8, № 13, де вихід к. од. становив 6,08–7,47 т/га за вмісту

гумусу 3,79–4,21% за кластеризації сівозмін 21%. Найпродуктивнішими були сівозміни № 2, № 8 та № 9, з яких продуктивність сівозміни № 2 була 7,47 т/га к. од., але не сприяла накопиченню гумусу в ґрунті. Сівозміна № 7 була в межах достовірності

кластеризації, але характеризувалася виходом к. од. на рівні 6,6 т/га з невисоким умістом гумусу. На недостовірному рівні кластеризації відокремлено сівозміну № 5, де вихід к. од. становив 5,51 т/га з високим умістом гумусу в шарі ґрунту 0–30 см.

## Висновки

За сівозмін із довгою ротацією уміст і запаси загального гумусу, вуглецю гумусу та в перерахунку на запаси  $C_r$  та  $C_{орз}$ -CO<sub>2</sub> (у перерахунку на депонований CO<sub>2</sub>) у шарі 0–20 см були вищими на 0,14% і 0,08% відповідно, ніж за короткоротаційних сівозмін, у шарі ґрунту 20–30 см — на 0,13% і 0,07% відповідно до вмісту гумусу  $C_r$ , тоді як запаси  $C_r$  та  $C_{орз}$ -CO<sub>2</sub> були рівними. У товщі 0–30 см за 7–10-пільних сівозмін уміст гумусу був вищим на 0,13%,  $C_r$  — 0,08%, запаси  $C_r$  та  $C_{орз}$ -CO<sub>2</sub> — на 15,6 т/га, ніж у сівозмінах із короткою ротацією.

За 7–10-пільних сівозмін значення параметрів гумусного стану за медіаною було вищим порівняно із середнім значенням і тяжіло до верхнього типового значення вмісту гумусу в нормованому інтервалі значень, що свідчить про зростання вмісту і запасів гумусу.

Оцінним критерієм секвестраційної здатності і продуктивності сівозмін

нами прийнято співвідношення між депонуванням  $C_{орз}$ -CO<sub>2</sub> в основну продукцію до C-CO<sub>2</sub> від мінералізації гумусу та побічної продукції. Виявлено, що C-CO<sub>2</sub> від мінералізації змінюється в межах 18–31 т/га.

Депонування  $C_{орз}$ -CO<sub>2</sub> в основну продукцію за 7–10-пільних сівозмін становить 31–54 т/га, а оцінним критерієм секвестраційної здатності та продуктивності прийнято співвідношення  $C_{орз}$ -CO<sub>2</sub> до  $C_{мін}$ -CO<sub>2</sub>, яке має перевищувати 1,5:1 на користь депонування органічного вуглецю в основну продукцію і гумус.

У загальному ряду сівозмін за 7–10-пільних сівозмін найефективнішими виявилися № 5 (50% — зернові, 20 — просапні, 30 — однорічні трави); № 9 (50% — зернові, 10 — бобові, 20 — просапні, 20 — однорічні трави); № 2 (50% — зернові, 20 — технічні, 20 — горох, 10 — однорічні трави); № 17 (40% — зернові, 20 — бобові, 30 — технічні, 10% — однорічні трави).

### Demuydenko O.

*Cherkasy State Agricultural Experimental Station of NRC «Institute of Agriculture of NAAS», 13 Dokuchaieva Str., vil. Kholodnianske, Smeliany district, Cherkasy oblast, 20731, Ukraine; e-mail: smilachiapv@ukr.net; ORCID: 0000-0002-5334-1154*

### Sequestration capacity of crop rotation with long rotation in the central part of the Forest Steppe

**Goal.** To establish regularities in the formation of CO<sub>2</sub> emission volumes by agrophytocenoses of 7–10 field crop rotations and deposition of carbon dioxide in the system «soil — atmosphere — crops» to assess the potential sequestration capacity of agrocenoses of crop rotations with a long rotation for the conditions of the central part of the Forest Steppe of Ukraine. **Methods.** Field, agrochemical (selection of samples and determination

of total humus), statistical calculation (to justify the reliability of the results and develop statistical models of relationships). The research was carried out on the Drabiv experimental field in a stationary experiment, which was established in 1967 and included 29 different crop rotations. **Results.** During crop rotation with a long rotation, the content and reserves of total humus, humus carbon, and in terms of C<sub>g</sub> and C<sub>орг</sub>-CO<sub>2</sub> reserves (in terms of deposited CO<sub>2</sub>) in the 0–20 cm layer were higher by 0.14 and 0.08%, respectively, than under short crop rotations, in the soil layer of 20–30 cm — by 0.13 and 0.07%, respectively, according to the content of humus C<sub>g</sub>, while the reserves of C<sub>g</sub> and C<sub>орг</sub>-CO<sub>2</sub> were equal. In the 0–30 cm layer, for 7–10 field crop rotations, the humus content was higher by 0.13%, C<sub>g</sub> by 0.08%, C<sub>g</sub> and C<sub>орг</sub>-CO<sub>2</sub> reserves — by 15.6 t/ha compared to crop rotations with a short rotation. For 7–10 field crop rotations,

the value of the parameters of the humus state was higher on the median compared to the average value and tended to the upper typical value of the humus content in the normalized interval of values, which indicated an increase in the content and stocks of humus. As an evaluation criterion of the sequestration capacity and productivity of crop rotation, they adopted the ratio between the deposition of  $C_{\text{org}}\text{-CO}_2$  in the main products to  $C\text{-CO}_2$  from the mineralization of humus and by-products. It was found that  $\text{CO}_2$  from mineralization varied within 18–31 t/ha. **Conclusions.** Deposition of  $C_{\text{org}}\text{-CO}_2$  for 7–10 field crop rotations was 31–54 t/ha. The ratio of  $C_{\text{org}}\text{-CO}_2$  to  $C_{\text{min}}\text{-CO}_2$ , which should exceed 1.5:1 in favor of the deposition of organic carbon

in the main products and humus, was adopted as an evaluation criterion of the sequestration capacity and productivity. In the general series of crop rotations for 7–10 field crop rotations, the most effective were: No. 5 (50% — cereals, 20 — row crops, 30 — annual grasses); No. 9 (50% — cereals, 10 — legumes, 20 — row crops, 20% — annual grasses); No. 2 (50% — cereals, 20 — technical, 20 — peas, 10% — annual grasses); No. 17 (40% — cereals, 20 — legumes, 30 — technical, 10% — annual grasses).

**Key words:** mineralization, deposition, 7–10-field crop rotations, humus accumulation, emission, organic carbon, fodder units.

**DOI:** <https://doi.org/10.31073/agroviznyk202408-02>

## Бібліографія

1. Третяк А.М. Землевпорядне проектування: теоретичні основи і територіальний землеустрій: навч. посібн. Київ: Вища освіта, 2006. 528 с.

2. Юркевич Є.О., Коваленко Н.П. Агро-екологічна оптимізація посівних площ і розміщення соняшнику в сівозмінах України. Одеса: ПП Огмрцян, 2007. 43 с.

3. Єщенко В.О. Сівозміни лісостепової зони. Умань, 2007. 176 с.

4. Сайко В.Ф., Бойко П.І. Сівозміни у землеробстві України. Київ: Аграрна наука, 2002. 146 с.

5. Сучасні системи удобрення сільськогосподарських культур у сівозмінах з різною ротацією за основними ґрунтово-кліматичними зонами України: рекомендації. УААН, ННЦ «Ін-т ґрунтознавства та агрохімії ім. О.Н. Соколовського»; за ред. А.С. Зарішняка, М.В. Лісового. Київ: Аграрна наука, 2008. 120 с.

6. Шам І.В., Бовсуновський В.М., Макух Я.П. Роль короткоротаційної сівозміни і обробітку ґрунту в системі захисту посівів цукрових буряків від бур'янів. *Агроном*. 2011. № 1. С. 156–157.

7. Коваленко Н.П. Становлення та розвитку науково-організаційних основ застосування вітчизняних сівозмін у системі землеробства ІХ — початок ХХІ ст.): монографія. Київ: ТОВ «НІЛАН-ЛТД», 2014. 490 с.

8. Бойко П.І., Коваленко Н.П. Науково-інноваційні аспекти сівозмін в Україні. *Вісник аграрної науки*. 2006. № 5. С. 24–28.

9. Бойко П.І., Коваленко Н.П., Блащук М.І., Демиденко О.В. Залежність зміни вмісту гумусу у чорноземі Лівобережного Лісостепу України від застосування сівозмін, удобрення

та обробітку ґрунту. *Young Scientist*. 2018. № 5/59. Mai. С. 1–3.

10. Єщенко В.О. Сівозміни проблеми сьогодення. Сучасні аграрні технології. 2013. № 4. С. 12–16.

11. Танчик С.П., Цюк О.А., Центило Л.В. Наукові основи систем землеробства: монографія. Вінниця: ТОВ «НІЛАН-ЛТД», 2015. 314 с.

12. Шевченко О.В. Вплив кліматичних змін на сільське господарство в Україні. *Збалансоване землекористування*. 2023. № 4. С. 108–114. doi: 10.33730/2310-4678.4.2023.292725

13. Адаменко Т. Зміна клімату та сільське господарство в Україні: що варто знати фермерам? *Німецько-український агрополітичний діалог*. 2019. 36 с. URL: <http://surl.li/djswf>

14. Польовий А.М., Божко Л.Ю. Вплив зміни клімату на агрокліматичні умови вегетаційного періоду основних сільськогосподарських культур. *Український гідрометеорологічний журнал*. 2017. № 20. С. 61–70.

15. Qiao N., Schaefer D., Blagodatskaya E. et al. Labile carbon retention compensates for  $\text{CO}_2$  released by priming in forest soils. *Global Change Biology*. 2013. 20(6):1943–1954. doi: 10.1111/gcb.12458

16. Riley W.J., Maggi F., Kleber M. et al. Long residence times of rapidly decomposable soil organic matter: application of a multi-phase, multicomponent, and vertically resolved model (BAMS1) to soil carbon dynamics. *Geosci. Model Dev*. 2014;7:1335–1355. doi: 10.5194/gmd-7-1335-2014]

17. Bardgett R.D., Mommer L., De ries F.T. Going underground: root traits as drivers of

ecosystem processes. *Trends Ecol. Evol.* 2014. No 29. P. 692–699. doi: 10.1016/j.tree.2014.10.006

18. Hirte J., Leifeld J., Abiven S. et al. Overestimation of crop root biomass in field experiments due to extraneous organic matter. *Front Plant Sci.* 2017. No 8. P. 284. doi: 10.3389/fpls.2017.00284

19. Torma S., Vilček J., Lošák T. et al. Residual plant nutrients in crop residues — an important resource. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B — Soil & Plant Science.* 2017. P. 358–366. doi: 10.1080/09064710.2017.1406134]

20. Анішин Л.А., Грицаєнко З.М., Пономаренко С.П. та ін. Утилізація вуглекислого газу за умов вирощування зернових культур з використанням біостимуляторів росту. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України.* 2014. Вип. 204. С. 56–65.

21. Довідник поживності кормів; за ред. М.М. Карпюся. 2-е вид., переробл. і доп. Київ: Урожай, 1988. 400 с.

22. *Нормативи ґрунтозахисних контурно-меліоративних систем землеробства;* за ред.

О.Г. Тараріка, М.Г. Лобаса. Київ: Урожай, 1998. 158 с.

23. *Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Reference Manual,* J.T. Houghton et al. IPCC/OECD/IEA, Paris, France, 1996. V. 3. Chapter 4. 140 p.

24. *Intergovernmental Panel on Climate Change (2000). Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories.* 2000. Chapter 4. 94 p.

25. *IPCC 2006, 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme,* Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. and Tanabe K. (eds). Published: IGES, Japan. V. 4. 678 p.

26. Демиденко О.В. Порівняльна ефективність короткоротаційних сівозмін за секвестраційною здатністю та агроенергетичною продуктивністю. *Вісник аграрної науки.* 2022. № 6. С. 16–25. doi: 10.31073/agrovisnyk 202208-02