

УДК 631.85:388

**О.В. Демиденко, доктор сільськогосподарських наук**

**І.С. Шаповал, кандидат сільськогосподарських наук**

*ЧЕРКАСЬКА ДСГДС ННЦ “ІНСТИТУТ ЗЕМЛЕРОБСТВА НААН”*

**П.І. Бойко, доктор сільськогосподарських наук**

**Д.В. Літвінов, доктор сільськогосподарських наук**

*ННЦ “ІНСТИТУТ ЗЕМЛЕРОБСТВА НААН”*

## **КРУГООБІГ ОРГАНІЧНОГО ВУГЛЕЦЮ В АГРОЦЕНОЗАХ РІЗНОРОТАЦІЙНИХ СІВОЗМІН ЛІВОБЕРЕЖНОГО ЛІСОСТЕПУ**

**Вступ.** Питанню колообігу органічного вуглецю присвячена значна кількість наукових досліджень [5, 7, 12], у тому числі фундаментальних [1, 8, 9, 10-13]. Вивчення проблеми формування запасів органічного вуглецю та зміни його якісного і енергетичного стану в агроценозах, особливо при застосуванні різних способів обробітку, є недостатнім та потребує додаткового вивчення як з агроекологічної, так і з агрономічної точки зору у плані визначення шляхів підвищення потенційної родючості чорноземів типових. Інтенсивний обробіток призводить до зменшення органічного вуглецю на великих площах, впливаючи на його потік та кругообіг у надземному циклі, що супроводжується зменшенням ґрунтових органічних сполук [5, 11, 13] та складових групового і фракційного стану гумусу чорноземів типових в агроценозах лівобережного Лісостепу України. Подальші фундаментальні дослідження по вивченню колообігу органічного вуглецю слід пов'язувати з перебігом загального продукційного процесу в різноротаційних сівозмінах, пов'язуючи з колообігом азоту у ґрунті та в агроценозі у цілому. Розуміння та кількісна оцінка особливостей перехідного режиму колообігу органічного вуглецю в агроценозах різноротаційних сівозмін має підвищену актуальність у відтворенні родючості чорноземів Лівобережного Лісостепу.

**Мета досліджень** полягала у вивченні колообігу органічного вуглецю в агроценозах різноротаційних сівозмін різного типу при використанні гною та нетоварної частки урожаю в умовах Лівобережного Лісостепу України.

© *О.В. Демиденко, І.С. Шаповал, П.І. Бойко, Д.В. Літвінов, 2017*

Завдання досліджень: 1) встановити особливості колообігу органічного вуглецю в агроценозах різноротаційних сівозмін у зв'язку з їх продуктивністю; 2) визначити взаємозв'язки між складовими загальної моделі колообігу органічного вуглецю в агроценозах сівозмін та колообігом вуглецю у ґрунті; 3) показати втрати органічного вуглецю, що перейшла в  $\text{CO}_2$  внаслідок мінералізації залежно від виходу побічної продукції у різноротаційних сівозмінах різного типу та виду органічних добрив.

**Методика проведення досліджень.** Дослідження проводилися в умовах центральної частини Лівобережного Лісостепу України в довгостроковому (понад 36 років) стаціонарному досліді Драбівського дослідного поля Черкаської державної дослідної станції ННЦ "Інститут землеробства НААН" згідно прийнятих й удосконалених методик [2, 3]. Дослід розміщено на чорноземі типовому малогумусному крупнопилувато легкосуглиноковому з вмістом гумусу – 3,8–4,2 %, вміст рухомого фосфору – 12–14 мг на 100 г ґрунту, а рухомого калію – 8–10 мг на 100 г ґрунту,  $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}} = 6,8\text{--}7,0$ .

**Результати досліджень.** В агроценозах за розорювання та їх формування у різноротаційних сівозмінах кардинально впливає на колообіг органічного вуглецю (Сорг.) та обумовлюється довгостроковим перехідним режимом його біологічного колообігу. Продуктивність 7-10 – пільних сівозмін упродовж 1999-2015 рр. за кумулятивним виходом кормових одиниць з 1 га у середньому становила 584 т/га або 38,9 т/га щорічно. Відхилення до максимально-типових значень (max.t) становило 615-675 т/га, а до мінімально-типових (min.t) – 521-524 т/га або 43,0 та 34,8 т/га щорічно. У 72 % випадків сівозмін продуктивність змінювалася від 525 до 625 т/га (35,0 т/га та 41,7 т/га) відповідно.

Таблиця 1. Продуктивність 10-ти пільних сівозміні за кумулятивним виходом при внесенні 6-7 т/га побічної продукції в умовах Лівобережного Лісостепу України за 1999-2015 рр.

№ вар	Структура сівозміни	Продуктивність сівозміни, кормових одиниць-т/га	Вихід побічної продукції, т/га	Баланс гумусу, т/га
Внесення соломи 7 т/га				
8	50%-зернові, 30% (соя, соянишник, цукрові буряки); 20% кормові	615	1885	+1,30
2	50% зернові; 20%-цукрові буряки; 20%-горох; 10% кормові.	576	1305	-1,08
12	40% зернові; 10%-цукрові буряки; 30%-кормові; 10%-горох	720	1605	+2,87
9	50% зернові; 10%-бобові; 20% просанні; 20%-кормові; 3 добривами	580	1370	-1,94
7	50% зернових; 10%-бобові; 30% просанні (10%- соя, 20% буряк); 10%-кормові.	675	1475	-1,21
5	50% зернові; 20% просанні; 30%-кормові.	569	1445	-0,23
Внесення гною 6 т/га				
8	50%-зернові, 30% (соя, соянишник, цукрові буряки); 20% кормові	660	550	-1,43
2	50% зернові; 20%-цукрові буряки; 20%-горох; 10% кормові.	548	435	-1,65
12	40% зернові; 10%-цукрові буряки; 30%-кормові; 10%-горох	490	395	-0,45
9	50% зернові; 10%-бобові; 20% просанні; 20%-кормові; 3 добривами	672	889	-0,62
7	50% зернових; 10%-бобові; 30% просанні; 10%-кормові.	765	600	-3,15
5	50% зернові; 20% просанні; 30%-кормові.	515	398	-1,33

**Таблиця 2. Коолообіг Сорг. у агроценозах 10-ти пільних сівозмін за кумулятивним виходом для умов Лівобережного Лісостепу за 1976-2015 рр.**

№	Маса Сорг., тонн					Витученого з агроценозу	Баланс Сорг., т/га (±)	
	в агроце-нозі	в урожаї в побічній продукції	від мінерали-зації решток, C <sub>сод</sub>	гумусу	в агроце-нозі		в ґрунті	
При внесенні соломи 6-7 т/га (1999-2013 рр.)								
8	1134	254	880	708	172	962	-82,0	+0,75
2	729	190	620	471	131	661	+22,0	-0,62
12	1088	317	771	573	198	890	-119	+1,61
9	825	299	526	402	124	701	-175	-1,13
7	1067	343	724	565	159	908	-184	-0,65
5	1023	315	715	556	159	890	-152	-0,14
При внесенні гною 6 т/га (1976-1998 рр.)								
8	513	236	277	139	138	375	179	-0,83
2	435	216	219	107	112	323	115	-0,96
12	506	214	292	193	109	307	187	-0,25
9	605	213	392	297	113	510	-204	-0,36
7	633	328	305	160	145	488	122	-1,13
5	461	267	267	170	97	437	97,0	-0,77
7-ми пільні (6 т/га соломи)								
13	775	175	600	463	137	638	526	+0,39
16	828	145	683	549	134	694	672	+0,39

Середній уміст Сорг. у основній продукції становив 237 т/га з відхиленням до 308–317 т/га по max.t інтервалу та до 173-175 т/га по min.t або 20,8 та 11,6 т/га щорічно (таблиця 1-2). Вихід побічної продукції в 7-10-пільних сівозмінах опосередковано становив 1428 т/га з відхиленнями до максимальних (max.t) та мінімальних (min.t) значень: 1475-1605 т/га ( $\approx 102,7$  т/га) та 1266-1305т/га ( $\approx 85,7$  т/га) відповідно. Більше 80 % сівозмін мали вихід побічної продукції у межах 1250-1650 т/га (83,3-177 т/га щорічно).

**Таблиця 3. Матриця парних коефіцієнтів кореляції між складовими колообігу Сорг. в агроценозах різноротаційних сівозмін Лівобережного Лісостепу, середнє за 2000-2015 рр.**

	Сорг. (агроценоз), т/га	Сорг. (урожай), т/га	Вилу- чено Сорг. т/га	% Сорг. (гумус)	Сорг. (гумус), т/га	C <sub>CO2</sub> , т/га	Сорг., в CO <sub>2</sub> , т/га	I6 (агроценоз), %	Кг
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	2	3	4	9	12	13	14	15	17
<b>Короткоротаційні сівозміни – солома 7 т/га</b>									
2	1,00	<b>0,86</b>	<b>0,98</b>	<b>-0,68</b>	<b>0,94</b>	<b>0,99</b>	<b>0,99</b>	-0,44	<b>-0,78</b>
3		1,00	<b>0,88</b>	<b>-0,53</b>	<b>0,72</b>	<b>0,79</b>	<b>0,79</b>	<b>-0,62</b>	<b>-0,62</b>
4			1,00	<b>-0,66</b>	<b>0,92</b>	<b>0,96</b>	<b>0,96</b>	<b>-0,52</b>	<b>-0,75</b>
9				1,00	<b>-0,48</b>	<b>-0,73</b>	<b>-0,73</b>	<b>0,70</b>	<b>0,95</b>
12					1,00	<b>0,93</b>	<b>0,93</b>	-0,17	<b>-0,60</b>
13						1,00	<b>1,00</b>	-0,42	<b>-0,81</b>
14							1,00	-0,42	<b>-0,81</b>
15								1,00	<b>0,66</b>
16									<b>0,98</b>
17									1,00
<b>10-ти пільні сівозміни (соллома та гній)</b>									
2	1,00	0,48	<b>0,91</b>	<b>-0,80</b>	<b>0,85</b>	<b>0,95</b>	<b>0,95</b>	<b>-0,77</b>	<b>-0,77</b>
3		1,00	0,52	-0,07	<b>0,59</b>	0,20	0,20	-0,21	-0,07
4			1,00	<b>-0,76</b>	<b>0,73</b>	<b>0,85</b>	<b>0,85</b>	<b>-0,82</b>	<b>-0,74</b>
9				1,00	-0,46	<b>-0,92</b>	<b>-0,92</b>	<b>0,94</b>	<b>0,99</b>
12					1,00	<b>0,72</b>	<b>0,72</b>	-0,39	-0,44
13						1,00	<b>1,00</b>	<b>-0,84</b>	<b>-0,89</b>
14							1,00	<b>-0,84</b>	<b>-0,89</b>
15								1,00	<b>0,95</b>
16									0,52

## Продовження Таблиці 3.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Загальна модель 3-5 та 7-10-ти пільні сівозміни з внесенням 7 т/га соломи									
2	1,00	0,85	0,93	-0,43	0,95	0,96	0,96	-0,41	-0,47
3		1,00	0,86	-0,14	0,78	0,68	0,68	-0,48	-0,15
4			1,00	-0,37	0,87	0,87	0,87	-0,56	-0,39
9				1,00	-0,23	-0,58	-0,58	0,60	0,96
12					1,00	0,90	0,90	-0,15	-0,27
13						1,00	1,00	-0,38	-0,62
14							1,00	-0,38	-0,62
15								1,00	0,57
16									0,19

Маса вуглецю у побічній продукції ( $\text{C}_{\text{орг. (п.пр.)}}$ ) в середньому становила – 668 т/га (44,5 т/га в рік) з відхиленнями до 724-771 т/га по max.t та до 526-600 т/га по min.t або 49,8 та 37,5 т/га щороку, зростаючи при насиченні сівозмін кукурудзою або зменшуючись при збільшенні у структурі сівозмін ярих колосових культур (див. табл. 2). Загальна маса первинної продукція вуглецю агроценозу ( $\text{C}_{\text{орг. (т)}} + \text{C}_{\text{орг. (п.пр.)}} = \text{C}_{\text{орг. (ар)}}$ ) у середньому становила 905 т/га (60,3 т/га в рік) з відхиленнями до 1067-1088 т/га (max.t) до 775-792 т/га (min.t) або 71,2 та 52,2 т/га щорічно. Витратна стаття  $\text{C}_{\text{орг.}}$  пов'язана з мінералізацією побічної продукції, маса якої у середньому становила 519 т/га (34,6 т/га) з відхиленням до 565-573 т/га (37,6 т/га) по max.t та до 402-463 т/га (28,8 т/га в рік) по min.t.

У перерахунку на масу  $\text{CO}_2$ , яка виділяється унаслідок мінералізації побічної продукції і складає емісію у атмосферу, у середньому становить 1902 т/га (127 т/га щороку) при максимальних і мінімальних інтервальних відхиленнях: 2070-2100 т/га (136 т/га в рік) та 1471-1675 т/га (106 т/га в рік).

Посилення емісії  $\text{CO}_2$  від мінералізації побічної продукції корелює з зростанням внесеної кількості побічної продукції на рівні прямої сильної кореляції ( $R=0,85-0,89 \pm 0,03$ ;  $R^2=0,77$ ) (таблиця 3). Загальна маса вилученої ( $\text{C}_{\text{орг. (арп)}}$ ) з агроценозу 7-10-пільних сівозмін становить суму ( $\text{C}_{\text{орг. (т)}} + \text{C}_{\text{CO}_2}$ ) і у середньому – 778 т/га при відхиленнях по max.t та по min.t. інтервалу значень у межах 908-962 т/га та 547-649 т/га або 62,3 т/га і 39,9 т/га

відповідно. У відсотковому вимірі за рахунок емісії 68,7 % вуглецю  $\text{CO}_2$  вилучається з агроценозу, а у інтервальному виразі: 64,4 – 71,3 %. На вилучення С орг. з основної продукції припадає у середньому 31,3 % або від 28,7 % до 35,7 %.

Баланс Сорг. у агроценозах 7-10-пільних сівозмін при використанні у якості органічних добрив нетоварної частки урожаю становив – 124 т/га (-8,27 т/га щорічно) при мінімальних від'ємних значеннях -38-15 т/га та максимальних: - 184-175 т/га або -27 т/га і -12 т/га. Інтенсивність балансу Сорг у агроценозах сівозмін (Ін/б(аг.)) була на низькому рівні: в середньому Ін/б(аг.)= 19,2% з відхиленнями по max.t - 22-23 % та по min.t – 16-18%. Баланс Сорг. у ґрунті ( $B_{\text{Сорг.}}$ ) в середньому по сівозмінах був від'ємним:  $B_{\text{Сорг.}} = -0,11$  т/га з інтервальними відхиленнями по max.t та по min.t. інтервальному значенні:  $B_{\text{Сорг.}} = +0,73-0,75$  т/га та  $B_{\text{Сорг.}} = -0,65-1,13$  т/га відповідно. Розподіл схилився в сторону від'ємних значень. Інтенсивність балансу Сорг. у ґрунті в середньому становив 55% з відхиленням до 96-97 % по max.t та до 27,5-30,7 % по min.t. мінімальному інтервальному значенню.

Достатньо високі показники додатності балансу Сорг. у ґрунті пов'язані з інтенсивним залученням Сорг. з побічної продукції до гуміфікації ( $C_{\text{орг. (гум)}}$ ): в середньому 22,8 % при відхиленнях від 27 % до 16,6 %, а співвідношення  $C_{\text{орг. (гум)}}$  до  $C_{\text{орг. (CO}_2)}$  (Кг) мало середнє значення  $K_g = 0,29$  при інтервальних відхиленнях:  $K_g(\text{max}) = 0,37$  та  $K_g(\text{min}) = 0,24$ . Зазначені обставини вплинули на загальний баланс гумусу: + 0,056 т/га (середнє значення) з відхиленнями від +2,87 т/га (max.t) до -2,13 т/га (min.t) або +0,003 т/га, +0,19 т/га та -0,14 т/га щорічно.

Заслуговує на увагу оцінка зміни колообігу Сорг. при заміні гною на побічну продукцію і навпаки. У стаціонарному досліді до 1990 року вносився гній, побічна продукція практично на 85-90 % вилучалася на користь тваринництва з внесенням 6 т/га гною. Аналіз продуктивності сівозмін, де вносився гній (вар. 8, 2, 12, 9, 7, 5), був нижчим на 15 т/га, а кількість побічної продукції (пожнивні і поукісні рештки) була нижчою у 2,3 рази: за внесення гною щорічно залишалася 36,3 т/га, за внесення соломи – 83 т/га. Встановлено, що при внесенні гною, відсоток Сорг. з побічної продукції, що залучався до гуміфікації, максимальним був при внесенні побічної продукції 550-600 т/га або 36.6-40,0 т/га

щорічно, що менше, у порівнянні з використанням у якості органічних добрив нетоварної частки врожаю, у 2,5-2,7 рази (див. табл. 1-3).

Загальний винос Сорг. за внесеного гною з агроценозу зменшувався у 2,2 рази, а на винос Сорг. товарною частиною врожаю приходилося у 1,5 рази менше Сорг. Втрата органічного вуглецю через мінералізацію ( $C_{\text{орг}(\text{CO}_2)}$ ) була нижчою у 3,39 рази у порівнянні з застосуванням соломи. Інтенсивність балансу Сорг. у агроценозі при внесенні гною зростала у 1,7 рази до 30-36 %. При внесенні гною через мінералізацію у атмосферу за кумулятивним виходом виділяється у 3,45 рази менше  $\text{CO}_2$ : 580 т/га проти 2000 т/га при внесенні нетоварної частки врожаю або 40 т/га і 135 т/га відповідно.

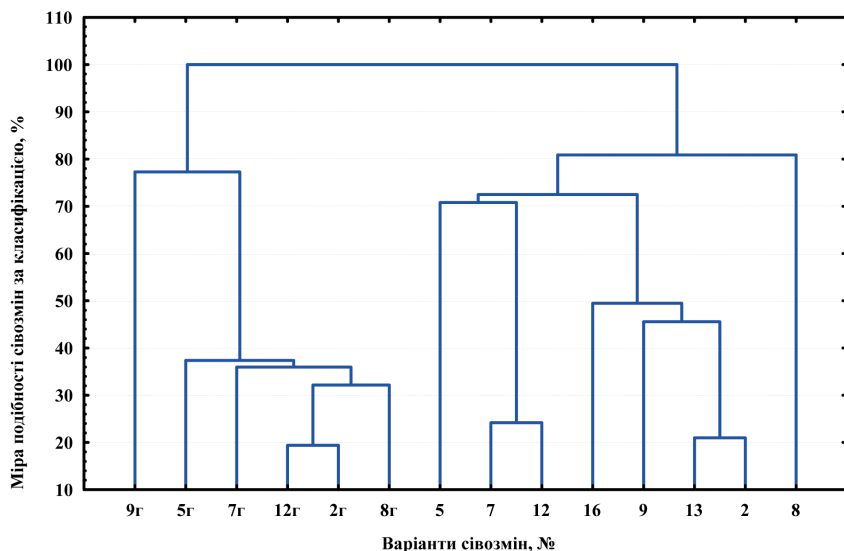
За сукупністю ознак, представлених у таблицях 1-5 та рис. 1, проведено чисельну класифікацію міри подібності між об'єктами сівозмін при заміні гною на побічну продукцію. При систематичному внесенні гною (6 т/га) 10-ти пільні сівозміни (вар. 5, 8, 7, 12, 2) об'єднуються в один кластер на рівні 35-37 %, тоді як при заміні гною на побічну продукцію 10-ти пільні сівозміни розмежовуються у окремі під-кластери з різним рівнем подібності, які об'єднуються в один генеральний кластер на рівні 80 %. Десятипільні сівозміни набувають своєї окремої ідентифікації, об'єднуючись у попарні під-кластери: вар. 9, 2, 5, 8, 7, 12, що свідчить про фундаментальність фактору заміни гною на побічну продукцію у якості органічних добрив і потребує окремого підходу до використання 10-ти пільних сівозмін у плані впливу на відтворення родючості.

За використання гною інтенсивність балансу Сорг. в агроценозі посилює зв'язок до значень прямої сильної кореляції ( $R=0,85-0,89 \pm 0,03$ ;  $R^2=0,77$ ) з часткою залученого Сорг. до процесів гуміфікації та співвідношенням Кг, а з витратою Сорг. на процеси мінералізації зв'язок посилюється до оберненої сильної кореляції ( $R=-0,85-0,88$ ;  $R^2=0,75$ ). При внесенні гною інтенсивність балансу Сорг. у ґрунті зростає у 1,45-1,55 рази.

Зміна набору та співвідношення культур у короткоротаційних сівозмінах вносить зміну у колообіг Сорг., як у агроценозі в цілому, так і ґрунті безпосередньо. Середня продуктивність



короткоротаційних сівозмін (3-5-ти пільних) за кумулятивним виходом становила 410 тонн кормових одиниць з 1 га або 27,3 т/га щорічно (таблиця 4-5). Максимально-типові значення продуктивності становили 524-551 т/га кормових одиниць (34,9-36,7 т/га), а мінімально-типова – 167-317 т/га кормових одиниць. Уміст Сорг. у основній продукції в середньому становив 138 т/га кормових одиниць або 9,2 т/га щорічно. За max.t інтервалом значень уміст Сорг. склав 172-183 т/га (11,5-12,1 т/га), а за min.t інтервалом: 92-105 т/га (6,1-7,0 т/га) відповідно. Вихід побічної продукції по сівозмінам становив 1045 т/га (69,7 т/га). Максимально-типовий уміст був на рівні: 1255-1495 т/га (83,7-99,6 т/га), а мінімальний – 375-873 т/га (25,0-58,2 т/га). У побічній продукції містилося 490 т/га Сорг з відхиленнями від 592-683 т/га до 183-413 т/га (табл. 6).



**Рис. 1.** Міра подібності між 10-пільними сівозмінами при заміні гною на побічну продукцію для умов Лівобережного Лісостепу, середнє за 1976-2013 рр.

Загальний запас Сорг. в середньому по сівозмінам склав 627 т/га або 42 т/га щорічно. Максимальний запас Сорг.

змінювався у інтервалі 755-828 т/га, а мінімальний – 285-505 т/га (50,5-55,2 т/га та 19,0-34,0 т/га щорічно). Середнє вилучення Сорг. (CO<sub>2</sub>) склало 387 т/га або 25,8 т/га щорічно. Максимальна втрата досягала 471-549 т/га, а мінімальна 132-325 т/га або 34,0 т/га та 15,0 т/га щорічно. Зазначені витрати Сорг. (CO<sub>2</sub>) через мінералізацію відповідають викидам CO<sub>2</sub> у атмосферу 1420 т/га (95 т/га щорічно). Максимальний викид CO<sub>2</sub> становить 2446 т/га (163 т/га), а мінімальна – 462 т/га (30,8 т/га щорічно).

Порівняно з 7-10-ти пільними сівозмінами втрати Сорг. на мінералізацію у короткоротаційних сівозмінах скорочується у 1,2-2,2, а витрати через виділення CO<sub>2</sub> – у 1,26-2,31 рази.

**Таблиця 4. Продуктивність 5-ти пільних сівозмін за кумулятивним виходом в умовах Лівобережного Лісостепу України, середнє за 2000-2015 рр.**

№ вар	Структура сівозміни	Продуктивність сівозміни, кормових одиниць т/га	Вихід побічної продукції, т/га	Баланс гумусу, т/га
1	2	3	4	5
10	60 % зернові (40% кукурудза); 20 % горох; 20% – кормові.	525	1695	+2,99
6	40 % – зернові; 20% – цукровий буряк; 20 % – горох	627	1211	-2,76
15а	60% – зернові; 20% – цукровий буряк; 20% – однорічні трави	551	1235	+0,52
15	60% – зернові; 20% – цукрові буряки; 20% – однорічні трави.	542	1495	-0,96
1а	60% – зернові; 20% – горох; 20% – цукрові буряки	516	1255	+0,53
10а	60% – зернові; 20% – цукрові буряки; 20% – однорічні трави	507	1230	+0,65
1	60% – зернові (40% – озима пшениця); 20% – цукрові буряки; 20% – однорічні трави	317	873	+1,15
11	60% – зернові (40% – озима пшениця); 20% – ріпак; 20% – однорічні трави	392	975	+0,12
4а	60% зернові (40% – ярі колосові); 20% – цукровий буряк; 20% горох	393	1038	+1,61

Продовження Таблиці 4.

1	2	3	4	5
4	60% зернові (40% – ярі колосові); 20% – ріпак; 20% горох	371	1017	+1,15
6а	40% – зернові; 20% – горох; 20% – цукрові буряки; 20% – кукурудза на силос	434	891	-2,76
11а	40% – зернові; 40% – цукрові буряки та соя; 20% – горох	386	1050	-1,06

**Таблиця 5. Продуктивність сівозмін за кумулятивним виходом в умовах Лівобережного Лісостепу України, середнє за 2000-2015 рр.**

№ вар	Структура сівозміни	Продуктивність сівозміни, кормових одиниць, т/га	Вихід побічної продукції, т/га	Баланс гумусу, т/га
<b>чотирипільна сівозміна</b>				
3	50% – зернові (25% – кукурудза); 25% – цукрові буряки; 25% – кормові	495	1203	+0,19
<b>трипільна сівозміна</b>				
16а	66% – кукурудза; 34% – соя	326	836	-1,43
3а	66% – зернові (33% – ячмінь); 34% – горох	168	375	+1,12
13а	66% – зернові (33% – ячмінь); 34% – соя	167	371	-1,12
3б	66% – зернові (яра пшениця); 34% – соя	159	387	-0,61
<b>семипільні сівозміни</b>				
13	72% – зернові (44% – кукурудза); 14% – цукрові буряки; 14% – багаторічні трави	524	1266	+2,85
16	56% – зернові (28% – озима пшениця); 43% – технічні (14% – цукрові буряки; 14% – соя; 14% – соняшник) 14% – однорічні трави	435	1443	+1,97

Таблиця 6. Коолообіг Сорг. у агроценозах сівозмін за кумулятивним виходом для умов Лівобережного Лісостепу, середнє за 1976-2015 рр.

№	Маса Сорг., т/га					Баланс Сорг., т/га (±)		
	в агроценозі	в урожаї	в побічній продукції	від мінералізації решток, C <sub>202</sub>	гумусу	вилученого з агроценозу	в агроценозі	в ґрунті
п'ятилітні сівозміни								
10	1027	200	827	667	160	867	+160	+1,90
6	637	171	466	373	93	544	+93,0	-1,27
15a	756	182	574	446	128	756	0	+0,12
15	791	175	616	500	116	675	+116	-0,49
1a	740	148	592	463	129	611	+129	+0,12
10a	750	172	578	471	107	585	+165	+0,37
1	505	92	413	325	88	417	+88,0	+0,67
11	599	141	458	381	77	522	+77,0	+0,01
4a	607	115	492	385	107	500	+107	+0,11
4	617	110	507	400	107	510	+107	+0,86
6a	625	159	466	373	93	532	+93,0	-1,27
11a	601	106	495	393	102	499	+102	-0,33
чотирирічна сівозміна								
3	758	166	592	483	109	649	+109	+0,11
трирічні сівозміни								
16a	504	107	397	300	97,0	407	+97,0	-0,84
3a	285	104	181	126	55,4	230	+55,0	+0,77
13a	234	105	183	132	51,0	218	+16,0	-0,76
36	288	103	185	135	50,0	288	0	-0,35

У середньому в короткоротаційних сівозмінах вилучення Сорг. з агроценозу становить 531 т/га або 35,4 т/га щорічно, а винос Сорг. за межі агроценозу скорочується в 1,23-2 рази. Баланс Сорг в агроценозах короткоротаційних сівозмін становив -66 т/га, зменшуючи дефіцитність до -3,0 т/га та збільшуючи її до -182 т/га, що менш дефіцитно у порівнянні з балансом в сівозмінах з довгою ротацією.

Типізовані додатні значення балансу змінюються у інтервалі +0,73 т/га до +1,0 т/га, а від’ємний: -0,49-1,27 т/га, що у перерахунку на щорічний баланс становить +0,006 т/га, +0,49-0,07 т/га та -0,03-0,035 т/га. На відміну від сівозмін з довгою ротацією баланс гумусу, практично у переважній більшості випадків, був додатним (+0,23 т/га). Між балансом Сорг. (агр) та Сорг (грн.) кореляційний зв’язок був на низькому недостовірному рівні. Переведення Сорг. з побічної продукції в органічну речовину ґрунту становило 102 т/га або 6,8 т/га щорічно. Розмах від мінімального до максимального закріплення Сорг. змінювалося від 50 т/га до 160 т/га (3,3 та 10,7 т/га щорічно). У середньому з Сорг. побічної продукції у ґрунт переходить 22 % Сорг, а мінімальні та максимальні - 16,8-30,8 %, що відповідає сівозмінах з довгою ротацією. В короткоротаційних сівозмінах кількість Сорг., що залучається до гуміфікації менша у 1,39-2,11 рази у порівнянні з сівозмінами з довгою ротацією.

Інтенсивність балансу Сорг. у ґрунті в середньому становить 28 % з відхиленнями від 44 % до 22 %. У порівнянні з довгоротаційними сівозмінами інтенсивність балансу Сорг. знижується у 1,8-2,4 рази за рахунок виключення з структури багаторічних та однорічних трав і збільшенням відсотку кукурудзи, сої, соняшнику.

Між Іб (агр) та Іб (грун) Сорг. виявлено прямий кореляційний зв’язок на рівні сильної кореляції ( $R=0,65\pm 0,03$ ;  $R^2=0,42$ ), тоді як в сівозмінах з довгою ротацією зв’язок послаблюється до середнього рівня. Між продуктивністю короткоротаційних сівозмін та інтенсивністю балансу Сорг. у агроценозах та ґрунті виявлено обернену кореляційну залежність:  $R=-0,58\pm 0,03$ ;  $R^2=0,35$  та  $R=-0,65\pm 0,03$ ;  $R^2=0,42$  відповідно. Між умістом Сорг. в урожаї та інтенсивністю балансу в агроценозі обернений зв’язок посилюється до сильного ( $R=-0,67\pm 0,03$ ;  $R^2=0,45$ ), а з Іб (грн) послаблюється до середнього рівня ( $R=-0,55\pm 0,03$ ;  $R^2=0,30$ ).

Встановлено, мінімального значення 16 (грн) набуває за продуктивності 450 кормових одиниць з 1 га або 30 т/га щорічно, коли винос Сорг. з агроценозу становить 650 т/га або 43,3 т/га щорічно. Між зростанням продуктивності сівозмін та рівнем мінералізації Сорг. побічної продукції існує прямий кореляційний зв'язок ( $R=0,81-0,85\pm 0,03$ ;  $R^2=0,69$ ), а з рівнем залучення Сорг. до гуміфікації зв'язок послаблюється: ( $R=0,75\pm 0,03$ ;  $R^2=0,56$ ). При отриманні 1 тонни кормових одиниць з 1га мінералізується 0,83 т/га Сорг., а залучається до гуміфікації 0,16 т/га органічного вуглецю побічної продукції, що визначає короткоротаційні сівозміни не менш ефективними порівняно з довгоротаційними.

Виявлено ряд загальних закономірностей для всіх типів сівозмін суть яких зводиться до того, що між масою Сорг. в побічній продукції та масою Сорг., яка залучається до гуміфікації, виявлено прямий кореляційний зв'язок ( $R=0,94\pm 0,05$ ;  $R^2=0,88$ ), а з масою Сорг., яка залучається до витратних статей на мінералізацію, сформовано зв'язок на рівні прямої лінійної залежності. Проте, між відсотком залучення Сорг. побічної продукції, що прямо залучається до гуміфікації та Кг і загальним виходом побічної продукції зв'язок був оберненим ( $R=-0,56-0,59\pm 0,03$ ;  $R^2=0,35$ ). При збільшенні надходження маси Сорг. з побічної продукції залучення Сорг. до гуміфікації знижується.

### Висновки

1. В агроценозах різноротаційних сівозмін різного типу та подовженості при використанні нетоварної частки урожаю у якості органічного добрива формується дефіцитний баланс Сорг., дефіцитність якого зменшується при переході від 7-10-ти пільних до 3-5-ти пільних сівозмін.

2. Маса вуглецю у побічній продукції (Сорг.<sub>(п.пр)</sub>) в 10-ти пільних сівозмінах в середньому становила – 668 т/га (44,5 т/га в рік) з відхиленнями до 724-771 т/га по max.t та до 526-600 т/га по min.t або 49,8 та 37,5 т/га щороку, зростаючи при насиченні сівозмін кукурудзою або зменшуючись при збільшенні у структурі сівозмін ярих колосових культур.

3. Між масою Сорг. в побічній продукції та масою Сорг., яка залучається до гуміфікації виявлено прямий кореляційний зв'язок ( $R=0,94\pm 0,05$ ;  $R^2=0,88$ ), а з масою Сорг., яка залучається

до витратних статей на мінералізацію, сформовано зв’язок на рівні прямої лінійної залежності, а між відсотком залучення Сорг. побічної продукції до гуміфікації та  $K_g$  і загальним виходом побічної продукції зв’язок був оберненим ( $R=-0,56-0,59\pm 0,03$ ;  $R^2=0,35$ ). При збільшенні надходження маси Сорг. з побічної продукції залучення Сорг. до гуміфікації знижується.

4. Виявлено критичне надходження Сорг. побічної продукції на рівні 600-700 т/га або 40-70 т/га щорічно, яке відповідає 1250-1350 т/га або 83-90 т/га щорічно і найнижчому залученню вуглецю до гуміфікації та найвищим темпам мінералізації і виділенню  $CO_2$  до атмосфери.

5. Напруженість колообігу Сорг. у агроценозах різноротаційних сівозмін визначається інтенсивністю балансу Сорг(ар) (Іб(а)): виявлено обернений кореляційний зв’язок ( $R=-0,58-0,60\pm 0,03$ ;  $R^2=0,35$ ) із загальною масою вилученого Сорг. з агроценозу, а з виносом Сорг. уражаєм та Іб(а) зв’язок посилювався до високого рівня ( $R=-0,67\pm 0,03$ ;  $R^2=0,42$ ), що свідчить про визначальну роль інтенсифікації сучасних сівозмін на формування балансу.

6. При заміні гною на побічну продукцію загальний винос Сорг. за внесеного гною з агроценозу зменшувався у 2,2 рази, а на винос Сорг. товарною частиною урожаю приходилося у 1,5 рази менше Сорг. Втрата органічного вуглецю через мінералізацію ( $C_{орг(CO_2)}$ ) була нижчою у 3,39 рази у порівнянні з застосуванням соломи. Інтенсивність балансу Сорг. у агроценозі при внесенні гною зростала у 1,7 рази та досягав 30-36 %. При внесенні гною мерез мінералізацію в атмосферу за кумулятивним виходом виділяється у 3,45 рази менше  $CO_2$ : 580т/га проти 2000т/га при внесенні нетоварної частки урожаю або 40 т/га і 135 т/га відповідно.

7. У короткоротаційних сівозмінах вилучення Сорг. з агроценозу становить 531 т/га або 35,4 т/га щорічно, а винос Сорг. за межі агроценозу скорочується в 1,23-2 рази. Баланс Сорг становив -66 т/га, зменшуючи дефіцитність до -3,0 т/га та збільшуючи її до -182 т/га, що менш дефіцитно у порівнянні з балансом у сівозмінах з довгою ротацією. На відміну від сівозмін з довгою ротацією баланс гумусу практично у переважній більшості випадків був додатним (+0,23 т/га).

1. Биологический круговорот углерода и его изменение под влиянием деятельности человека на территории южной Сибири / А.А. Титлянова, С.Я. Кудряшова, Н.П. Косых и др. // Почвоведение. – 2005. – Т. 2. – № 10. – С. 1240-1250.
2. Бойко П.І. Методика сучасних і перспективних досліджень у землеробстві / П.І. Бойко, Н.П. Коваленко // Вісник аграрної науки. – 2008. – № 2. – С.11-17.
3. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований) / Б.А. Доспехов. – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.
4. Практикум з ґрунтознавства: Навчальний посібник / За ред. проф. Д.Г. Тихоненка. – 6-е вид., пероб. і допов. – Харків :Майдан, 2009.
5. Опыт агрегированной оценки основных показателей биопродукционного процесса и углеродного бюджета наземных экосистем России / А.З. Швиденко, С. Нильсон, В.С. Столбовой и др. // Экология. – 2000. – Вып. 6. – С. 403-410.
6. Орлов Д. С. Практикум по химии гумуса / Д.С. Орлов, Л.А. Гришына. – М.: МГУ. – 1981. – 272с.
7. Тейт Ш.Р. Органическое вещество почвы / Ш.Р. Тейт; пер. с англ.. О.Д. Масловой, Д.С. Орлова. – М.: Мир, 1991. – 399 с.
8. 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.
9. Титлянова А.А. Продукционный процесс в агроценозах / А.А. Титлянова, Н.А. Тихомирова, Н.Г. Шатохина. – Новосибирск: Наука, 1982. – 184 с.
10. Трофимов С.Я. Функциональный подход к исследованию почв / С.Я. Трофимов // Вестник Московского университета. Сер. 17. – 1992. – № 3. – С. 3-11.
11. Шарков И.Н. Методы оценки потребности в органических удобрениях для бездефицитного баланса углерода в почве пара / И.Н. Шарков // Агрехимия. – 1986. - №2. – С.109-118.
12. Шарков И.Н. Исследование баланса углерода в почве в связи с применением органических и минеральных удобрений: автореф. дис. канд. биол. наук / И.Н. Шарков. – Новосибирск, 1986. – 25с.
13. Шарков И.Н. Минерализация и баланс органического вещества в почвах агроценозов Западной Сибири : автореф. дис. докт. биол. наук / И.Н. Шарков. – Новосибирск, 1997. – 37 с.



1. Titljanova, A.A., Kudrjashova, S.Ja. & Kosyh N.P. (2005). *Biologicheskij krugovorot ugljeroda i ego izmenenie pod vlijaniem dejatel'nosti cheloveka na territorii juzhnoj Sibiri. Pochvovedenie, T. 2, 10, 1240-1250.*
2. Boyko, P.I. & Kovalenko, N.P. (2008). *Metodyka suchasnykh i perspektyvnykh doslidzhen' u zemlerobstvi. Visnyk ahrarnoyi nauky, 2, 11-17.*
3. Dospheov, B.A. (1985). *Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoy obrabotki rezul'tatov issledovanij). Moskva, Agropromizdat.*
4. *Praktikum z gruntoznavstva: Navchal'nij posibnik (2009). D.G. Tihonenko (Ed.). Kharkiv, Majdan, 2009.*
5. Shvidenko, A.Z., Nil'son, S. & Stolbovoj, V.S. (2000). *Opyt agregirovannoj ocenki osnovnykh pokazatelej bioprodukcionnogo processa i ugljerodnogo bjudzhetu nazemnih jekosistem Rossii, 6, 403-410.*
6. Orlov, D. S. & Grishyna, L.A. (1981). *Praktikum po himii gumusa. Moskva.*
7. Maslovoj, O.D., Orlova, D.S. & Tejt, Sh.R. (Ed.). (1991). *Organicheskoe veshhestvo pochvy. Moskva.*
8. Titljanova, A.A. & Chuprova, V.V. (2003). *Izmenenie krugovorota ugljeroda v svjazi s razlichnym ispol'zovaniem zemel (na primere Krasnojarskogo kraja). Pochvovedenie, 2, 211-219.*
9. Titljanova, A.A. & Shatohina, N.G. (1982). *Produkcionnyj process v agrocenozah. Novosibirsk.*
10. Trofimov, S.Ja. (1992). *Funkcional'nyj podhod k issledovaniju pochv / S.Ja. Trofimov. Vestnik Moskovskogo universiteta. Ser. 17, 3, 3-11.*
11. Sharkov, I.N. (1986). *Metody ocenki potrebnosti v organicheskikh udobrenijah dlja bezdeficitnogo balansa ugljeroda v pochve para. Agrohimiya, 2, 109-118.*
12. Sharkov, I.N. (1986). *Issledovanie balansa ugljeroda v pochve v svjazi s primeneniem organicheskikh i mineral'nyh udobrenij: avtoref. dis. kand. biolog. nauk. – Novosibirsk.*
13. Sharkov, I.N. (1997). *Mineralizacija i balans organicheskogo veshhestva v pochvah agrocenozov Zapadnoj Sibiri. Extended abstract of Doctor's thesis. Novosibirsk.*

На основі багаторічних досліджень на типових чорноземах Лівобережного Лісостепу України у стаціонарних дослідках зроблений аналіз колообігу вуглецю в агроценозах різноротаційних сівозмін різного типу при використанні гною та нетоварної частки врожаю. Встановлено особливості колообігу органічного вуглецю в агроценозах різноротаційних

сівозмін у зв'язку з їх продуктивністю. Визначено взаємозв'язок між складовими загальної моделі колу обігу органічного вуглецю в агроценозах сівозмін та ґрунті. Показано втрати органічного вуглецю, що перейшло в  $\text{CO}_2$  внаслідок мінералізації залежно від виходу побічної продукції у різноротаційних сівозмінах різного типу та виду органічних добрив.

**Ключові слова:** різноротаційні сівозміни, чорноземи, продуктивність, колообіг, вуглець, агроценоз, органічні добрива.

На основани многолетних исследований на типичных черноземах Левобережной Лесостепи Украины в стационарных опытах сделан анализ круговорота углерода в агроценозах разноротационных севооборотов различного типа при использовании навоза и нетоварной части урожая. Установлено особенности органического углерода в агроценозах разноротационных севооборотов у связи с их продуктивностью. Определено взаимосвязь между составными общей модели круговорота органического углерода в агроценозах севооборотов и почвы. Показано потери органического углерода, преобразовавшегося в  $\text{CO}_2$  в результате минерализации в зависимости от выхода побочной продукции в различных севооборотах с разным типом и видом органических удобрений.

**Ключевые слова:** разноротационные севообороты, черноземы, продуктивность, круговорот, агроценоз, органические удобрения.

Based on many years of research on typical chernozems in the left-bank Forest-Steppe of Ukraine, the analysis of the carbon cycle in agroecosystems of different-rotational crop rotations of various types was carried out in stationary experiments using manure and the non-commodity part of the crop. Specific features of organic carbon in agroecosystems of different-rotational crop rotations have been established in connection with their productivity. The relationship between the components of the general model of the organic carbon cycle in agroecosystems of crop rotations and soil has been determined. It shows the loss of organic carbon, converted to  $\text{CO}_2$  as a result of mineralization, depending on the yield of by-products in various crop rotations with different types of organic fertilizers.

**Key words:** different rotation crop rotation, chernozem, productivity, circulation, agroecosystem, organic fertilizers.

**Рецензенти:**

Дегодюк Е.Г. – д.с.-г.н.

Цюк О.А. – д.с.-г.н.

Стаття надійшла до редакції – 12.06.2017 р.