



# Агроекологія, радіологія, меліорація

УДК 631.416.1:  
631.582-026.29(477.5)  
© 2018

## ОБІГ АЗОТУ В РІЗНОРОТАЦІЙНИХ СІВОЗМІНАХ ЛІВОБЕРЕЖНОГО ЛІСОСТЕПУ

О.В. Демиденко<sup>1</sup>, І.С. Шаповал<sup>2</sup>,  
П.І. Бойко<sup>3</sup>, В.А. Величко<sup>4</sup>

<sup>1,3</sup> доктори сільськогосподарських наук

<sup>2</sup> кандидат сільськогосподарських наук

<sup>4</sup> доктор сільськогосподарських наук, професор, член-кореспондент НААН

<sup>1,2</sup> Черкаська державна сільськогосподарська дослідна станція

ННЦ «Інститут землеробства НААН», вул. Докучаєва, 13,

с. Холодніанське Смілянського р-ну Черкаської обл., 20731, Україна

<sup>3</sup> ННЦ «Інститут землеробства НААН», вул. Машинобудівників, 2б,

смт Чабани Києво-Святошинського р-ну Київської обл., 08162, Україна

<sup>4</sup> ННЦ «Інститут ґрунтознавства і агрохімії імені О.Н. Соколовського НААН»

вул. Чайковська, 4, м. Харків, 61024, Україна

e-mail: <sup>1,2</sup>smilachipv@ukr.net, <sup>3</sup>izaan@ukr.net, <sup>4</sup>agrovisnyk@ukr.net

Надійшла 26.03.2018

**Мета.** Встановити нормативні параметри балансу азоту (N) в агроценозах різноротаційних сівозмін, як складової методології агроекологічної оцінки їхньої продуктивності за використання побічної продукції у якості органічних добрив в умовах сучасного клімату Лісостепу України. **Методи.** Узагальнення результатів багаторічних досліджень у польовому стаціонарному досліді, статистичний: дисперсійний, кореляційний, факторний, кластерний аналізи параметрів і кількісних статей балансу азоту. **Результати.** У 7- та 10-пільних сівозмінах типовий інтервал зміни ємності балансу становить 456–621 кг/га, а надходження азоту в агроценози сівозмін корелює ( $R=+0,82\pm 0,03$ ) з виносом азоту основною продукцією. Ємність балансу на рівні прямої сильної кореляції пов'язана зі зростанням продуктивності. Максимальна продуктивність сівозмін за виходом кормових одиниць і кормопротеїнових одиниць досягається при ємності балансу понад 580 кг/га. У 3–5-пільних сівозмінах баланс азоту по всіх варіантах був додатнім, а ємність балансу при максимальній продуктивності за виходом як кормових одиниць, так і зернопротеїнових одиниць становила 590–705 кг/га, що пов'язано з відсутністю багаторічних трав, надземна частина яких вилучається за межі агроценозу. **Висновки.** У сівозмінах з тривалою ротацією співвідношення вилучення азоту до надходження схиляється на користь вилучення, тоді як у 3–5-пільних сівозмінах, навпаки, на користь надходження азоту.

**Ключові слова:** азот, ємність балансу, інтенсивність балансу, сівозміни, нормативні параметри балансу.

<https://doi.org/10.31073/agroviznyk201807-09>

Проблема азоту є однією з найважливіших у агроґрунтознавстві, агрохімії та землеробстві, а забезпеченість азотом сільськогосподарських культур в агроценозах різноротаційних сівозмін — одним із визначальних факторів у формуванні продуктивності та відтворенні родючості чорноземів. Для управління процесами живлення культур, формування високих і якісних урожаїв і регулювання родючості ґрунту в умовах інтенсивного землеробства важливо всебічно вивчити направленість та ступінь змін азотного обігу під впливом довгострокового застосування різноротаційних сівозмін [1].

Колообіг азоту є основним біогеохімічним циклом, який відбувається в агроєкосистемах [2]. Дефіцит мінеральних і органічних форм ґрунтового азоту негативно позначається на розвитку агрофітоценозів, впливаючи на депонування вуглецю атмосфери, що посилює наслідки глобальних змін клімату [3–4]. Загальноприйнятим є включення азотного циклу агроєкосистеми до кліматичних моделей, як інтегральної характеристики вуглецевого циклу [5], а виключення азотного циклу з розгляду наслідків змін клімату призводить до недостатньої оцінки відгуку агроєкосистеми, де мінеральні форми ґрунтового азоту є лімітуючим фактором для розвитку наземної рослинності, як у природних ценозах [6–7], так і в агроценозах [8–9].

Актуальним завданням залишається розробка методології агроєкологічної оцінки продуктивності різноротаційних зернопросапних сівозмін на основі встановлення нормативних параметрів моделей азотного обігу за використання побічної продукції у якості органічних добрив в умовах сучасного клімату Лісостепу України.

**Мета досліджень** — установити нормативні параметри балансу азоту в агроценозах різноротаційних сівозмін, як складової методології агроєкологічної оцінки їхньої продуктивності за використання побічної продукції у якості органічних добрив в умовах Лісостепу України.

**Методи досліджень.** Узагальнення результатів багаторічних досліджень

у польовому стаціонарному досліді, статистичний: дисперсійний і кореляційний аналізи параметрів продуктивності, структури фітомаси та кількісних статей балансу азоту.

**Методика досліджень.** Дослідження проводили в умовах центральної частини Лівобережного Лісостепу України в довгостроковому (понад 50 років) стаціонарному досліді Драбівського дослідного поля Черкаської державної сільськогосподарської дослідної станції «ННЦ «Інститут землеробства НААН». Дослід розміщено на чорноземі типовому малогумусному крупнопилуватому легкосуглинковому з умістом гумусу — 3,8–4,2%, уміст рухомого фосфору — 120–140 мг/1000 г ґрунту, рухомого калію — 80–100 мг/1000 г ґрунту,  $pH_{H_2O}$  = 6,8–7,0. Системи удобрення культур передбачають такі норми добрив: пшениця озима, кукурудза, ячмінь ярий, пшениця яра, соя —  $N_{60}P_{60}K_{60}$ ; горох —  $N_{20}P_{40}K_{40}$ ; соняшник —  $N_{40}P_{40}K_{40}$ ; буряки цукрові —  $N_{100}P_{100}K_{100}$ . З 2000 по 2016 р. в якості органічного добрива використовують усю побічну продукцію.

У стаціонарному досліді вивчали дев'ять 10-пільних сівозмін; дві — 7-пільних, дванадцять — 5-пільних, одну — 4-пільну та чотири — 3-пільних сівозміни (табл. 1).

За розрахунку балансу азоту (Б-Н) враховують такі статті надходжень і витрат:

$$B-N = (N_d + N_n + N_e) - (N_b + N_m + N_e),$$

де Б-Н — баланс азоту, кг/га;  $N_d$  — азот добрив, кг/га;  $N_n$  — азот, унесений із насінням, кг/га;  $N_e$  — розміри збагачення ґрунту біологічним азотом, кг/га;  $N_b$  — винос азоту рослинами (основна і побічна продукція), кг/га;  $N_m$  — газоподібні втрати N, кг/га, які становлять 15–25% норми, внесеної з азотними добривами,  $N_e$  — втрати за рахунок вимивання з ґрунту, кг/га.

Сумарні мінімальні величини газоподібних втрат азоту з добрив і ґрунту становлять: для культур суцільної сівби — 10–15, для просапних культур — 15–20% від суми всіх статей приходу азоту в ґрунт.

Азот, унесений з насінням, і винос цього елемента з ґрунту з основною і побічною

## 1. Структура сівозмін у досліді

№	Структура сівозмін у досліді
18*	50% зернові, 10% бобові, 20% просапні, 20% кормові. Без добрив
5*	50% зернові, 20% просапні, 30% кормові
17*	40% зернові, 20% бобові, 30% технічні, 10% кормові
12*	50% зернові, 10% буряки цукрові, 30% кормові, 10% горох
7*	50% зернові, 10% бобові, 30% просапні, 10% кормові
14*	70% зернові, 10% бобові, 20% технічні
9*	50% зернові, 10% бобові, 20% просапні, 20% кормові. З добривами
8*	50% зернові, 30% технічні, 20% кормові
2*	50% зернові, 20% буряки цукрові, 20% горох, 10% кормові
16**	56% зернові (28% пшениця озима), 30% технічні, 14% однорічні трави
13**	72% зернові, 14% буряки цукрові, 14% багаторічні трави
4***	60% зернові (40% колосові ярі), 20% ріпак, 20% горох
1***	60% зернові, 20% буряки цукрові, 20% однорічні трави
11***	60% зернові (40% пшениця озима), 20% ріпак, 20% однорічні трави
11a***	40% зернові, 40% буряки цукрові та соя, 20% горох
4a***	60% зернові (40% колосові ярі), 20% буряки цукрові, 20% горох
6***	40% зернові, 40% технічні (соя 20%, ріпак 20%), 20% горох
6a***	40% зернові, 20% горох, 20% буряки цукрові, 20% кукурудза на силос
15***	60% зернові, 20% буряки цукрові, 20% однорічні трави
1a***	60% зернові, 20% горох, 20% буряки цукрові
10a***	60% зернові, 20% буряки цукрові, 20% однорічні трави
15a***	60% зернові, 20% буряки цукрові, 20% однорічні трави
10****	60% зернові (40% кукурудза), 20% горох, 20% кормові
3	50% зернові (25% кукурудза), 25% буряки цукрові, 25% кормові
13a#	66% зернові (33% ячмінь), 34% соя
3a#	66% зернові (33% ячмінь), 34% горох
3б#	66% зернові (33% пшениця яра), 34% соя
16б#	66% кукурудза, 34% соя

Примітка: \*10-пільні сівозміни; \*\*7-пільні; \*\*\*5-пільні; № 3 — 4-пільна сівозмінка; #3-пільні сівозміни.

продукцією визначають за довідковими даними: за сівби зернових колосових уносять 4–6 кг/га азоту, зернобобових — 8–15 і т.д. Залежно від типу і насиченості сівозміни тією чи іншою культурою за ротації з посівним матеріалом вноситься азоту 20–50 кг/га і більше.

Збагачення ґрунту біологічним азотом визначали за формулою:

$$N_{зб} = N_6 - N_в,$$

де  $N_{зб}$  — збагачення ґрунту біологічним азотом, кг/га;  $N_6$  — біологічний азот рослинних решток (кг/га);  $N_в$  — винос азоту рослинами, кг/га.

$N_в$  визначали за формулою:

$$N_в = N_{ур}(1 - K_ф),$$

де  $N_{ур}$  — загальний азот в основній продукції, кг/га;  $K_ф$  — коефіцієнт азотфіксації (відношення кількості фіксованого азоту до загального

в урожаї) для конюшини, люпину, еспарцету — 0,7, для люцерни — 0,8, гороху й вики — 0,6, пожнивних решток зернобобових культур 0,3–0,4, для пожнивно-коренових залишків бобових трав — 0,50–0,70.

Вихід структури фітомаси визначали за Ф.І. Левіним [10], запас азоту в структурі фітомаси за А.В. Івойловим [11]. Узагальнювали результати досліджень за «Методом дисперсійного аналізу» [12], використовуючи програму «STATISTICA» — методи непараметричної статистики.

**Результати досліджень.** Типовий інтервал надходження азоту в сівозмінах із тривалою ротацією становив 226–314 кг/га. У сівозмінах № 9 і 12 стаття надходження N перевищувала верхню межу типових значень на 110–142%, тоді як у сівозмінах № 18, 7, 17, 16 надходження N було меншим за межу типових значень. Коефіцієнт варіації (Coef. v)

становив 27,8%. Надходження N за рахунок побічної продукції та асоціативної азотфіксації змінювалось в інтервалі 101–151 кг/га за Коef.  $v$  29,9%. Перевищення верхньої межі типового інтервалу надходження N було у сівозмінах № 9 та 12, а у сівозмінах № 7, 18, 17, 16 надходження N було нижчим за мінімальне типове значення.

Винос N основною продукцією змінювався в інтервалі 108–148 кг/га за Коef.  $v$  24%. За верхньою межею типових значень (>148 кг/га) винос N був у сівозмінах № 18, 7, 14. Винос N основною продукцією виходив за мінімальне типове значення, що напряму пов'язано ( $R=+0,72-0,85\pm0,03$ ;  $R^2=0,52-0,72$ ) з формуванням продуктивності та вмістом ( $R=0,75-0,78\pm0,03$ ;  $R^2=0,56-0,61$ ) перетравного протеїну в урожаї.

Витрата N від мінералізації гумусу становила 98–118 кг/га за Коef.  $v$  13,7%. У сівозмінах № 9, 8, 12, 13 витрата N за рахунок мінералізації гумусу перевищувала верхню типову межу, тоді як у сівозмінах № 7, 17, 5 витрата N була нижчою за мінімальне типове значення. Загальна витрата N у 7- та 10-пільних сівозмінах змінювалася у типовому інтервалі 226–292 кг/га за Коef.  $v$  19,1%. Перевищення типового рівня верхньої межі значень загального виносу N було у сівозмінах № 9, 8, 12, 13, а у сівозмінах № 18, 7, 14, 17 винос N виходив за нижню межу типового значення.

Баланс азоту (Б-N) 7- та 10-пільних сівозмін змінювався в типовому інтервалі значень: Б-N=-6,0–+34 кг/га за Коef.  $v$  33,8%. За верхню межу типових значень Б-N виходив лише у сівозмінах № 7 і 12 (Б-N=+11–116 кг/га), тоді як за нижню межу рівень балансу азоту виходить на контролі без унесення добрив (№ 18). Типовий інтервал значень інтенсивності балансу азоту змінювався від 97 до 107% за низького значення варіативності (Коef.  $v$  7,2%). За межі верхнього типового значення інтенсивність балансу виходить у сівозміні № 9, де вирощують багаторічні трави, а решта сівозмін знаходиться у межах типових значень.

Ефективність затрат азоту ґрунту і добрив (Ке) у рамках розглянутих сівозмін оцінено за кількістю витраченого азоту за рахунок названих джерел на створення одиниці N в урожаї надземної маси, що вилучається з поля. Типовий інтервал

зазначеного показника змінюється від 0,46 до 0,50 кг за Коef.  $v$  8,9%. Коефіцієнт витрат азоту в сівозмінах № 18, 5, 13, 16 своїми значеннями виходив за верхню типову межу значень, що свідчить про неекономічність витрат, а у сівозмінах № 9, 7, 12, 14 значення Ке було меншим за нижню межу, що свідчить про найбільш економну витрату азоту. Решта сівозмін мали середній рівень ефективності використання азоту. В табл. 2 наведено баланс азоту в зернопросапних 7- та 10-пільних сівозмінах за медіанним значенням за 2005–2015 рр.

У короткоротаційних сівозмінах за всіма статтями надходження N змінювалося у типовому інтервалі значень 239–283 кг/га, що вище, ніж у 7- і 10-пільних сівозмінах як за верхнім, так і за нижнім типовими значеннями. Коефіцієнт варіації становив 19,6%, що нижче в 1,42 раза порівняно із сівозмінами з тривалою ротацією. За верхню межу типових значень загального надходження N виходили сівозміни № 15, 15а, 3, 16б, а за нижню межу — сівозміни № 4, 4а, 6а, 3б, 13а. Надходження N з побічної продукції мало типовий інтервал 101–136 кг/га, що значно звужено за верхнім типовим значенням порівняно з 7- та 10-пільними сівозмінами, при цьому Коef.  $v$  становив 29%. У сівозмінах № 10, 10а, 15а, 3, 16б надходження N із побічної продукції перевищує верхню межу типових значень, а у сівозмінах № 4, 4а, 3а, 3б, 13а знижується за нижню межу типових значень.

Поповнення статей балансу N за рахунок симбіотичної азотфіксації змінювалося в інтервалі 30–65 кг/га, що в 1,27 раза менше за верхнім типовим значенням відносно сівозмін з тривалою ротацією при значенні Коef.  $v$  69,3%. За верхню типову межу рівень симбіотичної азотфіксації виходить у сівозмінах № 11, 11а, 15а, 3, а за нижню — у сівозмінах 1, 1а, 4, 4а, 6а, 10. Типовий інтервал симбіотичної азотфіксації становив 28–77 кг/га за Коef.  $v$  69,3%. За верхню межу типових значень надходження N за рахунок азотфіксації було у сівозмінах № 9, 12, 13, де висівали багаторічні трави, а у сівозмінах № 7, 14, 17, 2 надходження N було меншим за мінімальне типове значення.

Витрата N основною продукцією у короткоротаційних сівозмінах мала типовий

## 2. Баланс азоту в зернопрораспних 7- та 10-пільних сівозмінах за 2005–2015 рр.

Шифр сівозміни	Надійшло азоту (кг/га) від			Витрати азоту, кг/га				Баланс азоту, ± кг/га	Ємність балансу, кг/га	Інтен-сивність балансу, %	Витрати азоту на 1 кг азоту в урожаї Ке (кг/га)
	симбіотичної азотфіксації	побічної продукції*	разом з NPK	основною продукцією	мінералізацією гумусу	N <sub>2</sub> O	разом з мінеральними				
10-пільні сівозміни											
18	53,0	113	204	102	107	2,40	212	–8,00	416	97	0,50
5	36,0	105	236	122	82,0	4,50	235	+1,00	471	101	0,52
17	19,0	90,0	202	97,0	86,0	4,10	206	–4,00	408	98	0,48
12	142	211	446	189	122	5,80	333	+116	471	104	0,43
7	20,0	98,0	222	95,0	96,0	4,60	211	+11,0	433	104	0,43
14	25,0	111	236	104	101	6,30	237	–1,00	473	99	0,44
9	78,5	167	344	152	120	6,20	339	+5,00	683	123	0,44
8	50,0	147	294	142	123	5,90	294	0,00	588	100	0,48
2	26,0	130	258	120	114	5,50	258	–0,00	779	100	0,46
7-пільні сівозміни											
16	50,0	83,0	223	120	110	2,70	229	–6,00	452	97,0	0,53
13	80,0	128	305	167	123	4,70	304	+1,00	609	99,0	0,55
Статистична оцінка параметрів											
Coef. v, %	69,3	29,9	27,8	24,0	13,7	27,8	19,1	33,8	25,0	7,22	8,86
HIP <sub>0,5</sub>	24,5	24,9	44,0	20,4	9,79	0,88	32,7	23,5	35,0	4,88	0,02
* Побічна продукція + пожнивні рештки+корені + асоціативна азотфіксація (25 кг/га).											

\* Побічна продукція + пожнивні рештки+корені + асоціативна азотфіксація (25 кг/га).

інтервал значень 96–137 кг/га, що в 1,08 раза (за верхньою) та 1,13 раза (за нижньою межею) менше порівняно з 7- та 10-пільними сівозмінами. Коефіцієнт варіації становив 34,8%, що вище в 1,45 раза порівняно із сівозмінами тривалої ротації. У сівозмінах № 10а, 11, 15а, 3, 16б винос N основною продукцією перевищував верхню типову межу, а у сівозмінах № 1, 4, 4а, 3а, 3б, 13а винос N знижувався за межу типового інтервалу значень. Витрати N за рахунок мінералізації гумусу були на рівні показників 7- та 10-пільних сівозмін за зростання Coef. v до 22,4%, що в 1,64 раза вище порівняно із 7- та 10-пільними сівозмінами.

Найвищі витрати N за рахунок мінералізації гумусу були у сівозмінах № 10, 10а, 15, 15а, 16б, тоді як найменші витрати N — у сівозмінах № 1, 4, 4а, 11, 3а, 13б (табл. 3).

Загальні витрати N звузилися до інтервалу значень 213–268 кг/га, що достовірно менше порівняно з сівозмінами з тривалою ротацією. Коефіцієнт варіації показника становив 22,6%. У сівозмінах № 10, 10а, 11, 15а, 3, 16б винос N перевищував

верхню межу типових значень (N>268 кг/га), а у сівозмінах № 4, 4а, 3а, 13а — знижувався за нижню межу значень загального виносу (N<213 кг/га).

Баланс азоту короткоротаційних сівозмін оцінювався позитивним інтервалом значень: Б-N=+5,40–+40 кг/га за високого значення Coef. v>100%, що кардинально відрізняє короткоротаційні сівозміни від сівозмін з тривалою ротацією. Лише у 5-пільних сівозмінах (№ 15, 3, 3а, 13а, 16б) Б-N виходить за верхню межу типових значень (Б-N>+40,4 кг/га), а у сівозмінах № 10, 15а, 3б Б-N був за межею мінімального типового значення (Б-N <+5,4 кг/га). У сівозміні № 10а Б-N знижувався до +65 кг/га.

Оцінка Б-N за показником інтенсивності балансу (I<sub>б</sub>, %) показала, що інтервал типової зміни становить 104–118%, що інтенсивніше в 1,07–1,10 раза порівняно із сівозмінами з тривалою ротацією. Коефіцієнт варіації інтенсивності балансу азоту (I<sub>б</sub>, %) у короткоротаційних сівозмінах становить 13,1%, що вище в 1,81 раза порівняно з групою сівозмін з тривалою



### 3. Баланс азоту в зернопросапних 3 – 5-пільних сівозмінах за 2005 – 2015 рр.

Шифр сівозміни	Надійшло азоту (кг/га) від			Витрати азоту, кг/га				Баланс азоту, ± кг/га	Ємність балансу, кг/га	Інтенсивність балансу, %	Витрати азоту на 1 кг азоту в урожаї, Ке (кг/га)
	симбіотичної азотфіксації	побічної продукції*	разом з NPK	основною продукцією	мінералізацією гумусу	N <sub>2</sub> O	разом з мікробіоти				
5-пільні											
4	21,0	98,0	210	79,0	83,0	2,1	184	+26,0	394	114	0,38
1	14,0	102	211	89,0	87,0	2,2	205	+6,00	416	103	0,42
11	70,0	113	277	152	89,0	2,3	270	+7,00	547	103	0,55
11a	24,0	118	270	110	103	2,8	241	+29,0	511	112	0,41
4a	27,0	79,0	205	82,0	73,0	1,9	182	+23,0	398	113	0,39
6	34,0	125	259	102	99,0	2,5	227	+32,0	486	108	0,39
6a	23,0	101	226	99,0	92,0	2,3	220	+6,00	446	102	0,41
15	103	133	328	110	121	2,8	244	+84,0	572	134	0,24
1a	17,0	126	248	107	96,0	2,5	230	+12,0	478	108	0,43
10a	33,0	133	263	173	131	2,9	328	−65,0	591	80	0,66
15a	94,0	166	354	199	124	3,1	351	+3,00	705	101	0,56
10	28,0	147	275	121	126	3,0	274	+1,00	549	101	0,44
4-пільна сівозміна											
3	118	137	352	190	104	2,2	296	+56,0	648	119	0,54
3-пільні сівозміни											
13a	43,0	95,0	244	80,0	72,0	2,1	178	+66,0	422	137	0,33
3a	40,0	64,0	231	74,0	71,0	1,1	171	+60,0	402	135	0,36
36	30,0	67,0	202	72,0	96,0	1,2	201	+1,00	403	100	0,36
166	43,0	196	344	127	150	2,2	302	+42,0	646	114	0,36
Статистична оцінка параметрів											
НІР <sub>0,05</sub>	16,2	17,5	26,5	20,5	11,6	0,31	27,8	17,5	25,0	7,43	0,04
*Побічна продукція + пожнивні рештки+корені + асоціативна азотфіксація (25 кг/га).											

\*Побічна продукція + пожнивні рештки+корені + асоціативна азотфіксація (25 кг/га).

ротацію. Показник  $I_6$  лише у сівозмінах 15, 3, 3а, 13а, 166 перевищував верхнє типовє значення ( $I_6 > 118\%$ ), а у семи сівозмінах знижувався за межу нижнього типового значення ( $I_6 < 104\%$ ).

Оцінка ефективності затрат N ґрунту і добрив за кількістю витраченого N на створення одиниці N в урожаї надземної маси (Ке), що вилучається з поля, показала, що типовий інтервал зміни становить  $Ке = 0,39 - 0,47$  кг/га, що в 1,06 – 1,18 раза менше відносно сівозмін з тривалою ротацією. Коефіцієнт варіації зростає у 2,69 раза і досягає значень 23,8%. У табл. 3 наведено Б-N у зернопросапних 3–5-пільних сівозмінах за медіанним значенням за 2005 – 2015 рр.

Найменш ефективно використовувався N у сівозмінах № 10а, 11, 15а, 3, а найбільш

ефективно у сівозмінах № 4, 15, 3а, 36, 13а, 166, де  $Ке > 0,47$  кг/га у першому випадку, та  $Ке < 0,39$  кг/га — у другому.

Ємність балансу азоту ( $Є_6-N$ ) — величина, що характеризує загальний колообіг азоту (витрата+надходження) і, відповідно, чим вищий рівень зазначеної величини, тим інтенсивніша сівозміна [13].

У 7- та 10-пільних сівозмінах типовий інтервал зміни  $Є_6-N$  становить 456–621 кг/га за  $Coef. v$  22,9%. У сівозмінах № 9, 12  $Є_6-N$  перевищує верхню типову межу значень (683 і 773 кг/га), тоді як у сівозмінах № 18, 7, 17, 16  $Є_6-N$  виходить за межі нижнього типового значення ( $Є_6-N < 456$  кг/га). У 7- та 10-пільних сівозмінах надходження N в агроценоз сівозміни корелює ( $R = +0,92 \pm 0,03$ ) з виносом N основною продукцією. Це сівозміни з насиченням багаторічними травами,

де  $E_6-N$  становить 700–800 кг/га, а у сіво-  
змінах, де насиченість бобовими та багаторічними травами низька або відсутня,  $E_6-N$  знижується до 400–500 кг/га.

У сівозмінах з короткою ротацією (3–5-пільні) типовий інтервал зміни  $E_6-N$  становив 454–557 кг/га, що за верхнім типовим значенням в 1,12 раза менше (–70 кг/га) порівняно з 7- та 10-пільними сівозмінами при рівному значенні за нижньою типовою межею.

У сівозмінах № 10а, 15, 15а, 3, 16б  $E_6-N$  перевищує максимальне типове значення ( $E_6-N=572-705$  кг/га).

У сівозмінах № 1а, 4, 4а, 6а (5-пільні) та 3а, 3б, 13а (3-пільні)  $E_6-N$  виходить за мінімальне типове значення.

Про достовірність встановленої закономірності свідчать значення достовірності ( $R^2$ ) експоненціальних рівнянь зміни надходження та вилучення азоту в різноротаційних сівозмінах:  $R^2=0,69-0,96$ . З ємністю балансу азоту зв'язок між надходженням і вилученням азоту був на рівні прямої сильної кореляції (рисунок). Незалежно від ротаційності та господарського типу сівозміни  $E_6-N$  корелювала з усіма статтями балансу N на рівні середньої і сильної прямої кореляції.

$E_6-N$ , кг/га: N — основної продукції, кг/га:  $y = -36,8 + 0,30 \cdot x$ ;  $r = 0,86$ ;  $r^2 = 0,73$ .

$E_6-N$ , кг/га: N — побічної продукції, кг/га:  $y = 5,58 + 0,11 \cdot x$ ;  $r = 0,65$ ;  $r^2 = 0,45$ .

$E_6-N$ , кг/га: N — коренів, кг/га:  $y = -39,3 + 0,19 \cdot x$ ;  $r = 0,83$ ;  $r^2 = 0,69$ .

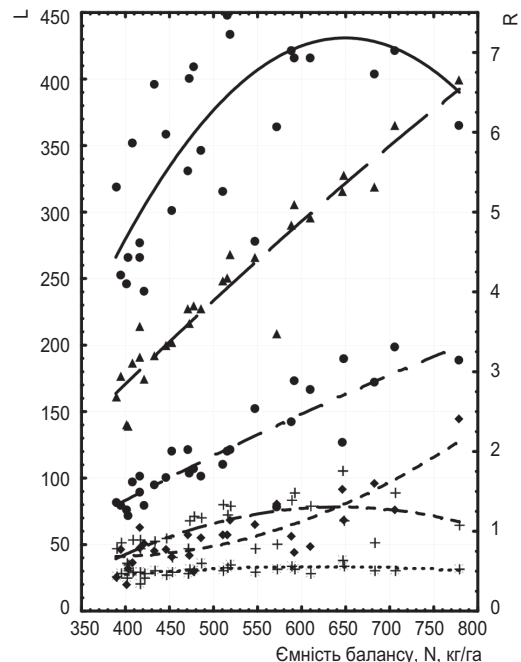
$E_6-N$ , кг/га: N — загальної фітомаси, кг/га:  $y = -60,9 + 0,58 \cdot x$ ;  $r = 0,83$ ;  $r^2 = 0,69$ .

$E_6-N$ , кг/га: вихід к.о., т/га:  $y = 1,85 + 0,01 \cdot x$ ;  $r = 0,68$ ;  $r^2 = 0,46$ .

$E_6-N$ , кг/га: кормопротеїнові одиниці, т/га:  $y = 0,37 + 0,0003 \cdot x$ ;  $r = 0,51$ ;  $r^2 = 0,26$ .

Виходячи з коефіцієнтів регресії рівнянь залежності  $E_6-N$  від складових загальної фітомаси та продуктивності сівозмін виявлено, що в 7- та 10-пільних сівозмінах на одиницю  $E_6-N$  приходить 0,26 одиниць виходу основної продукції, 0,54 одиниці загальної фітомаси, 0,004 одиниці виходу к.о. та 0,002 одиниці перетравного протеїну. За 3–5-пільних сівозмін  $E_6-N$  на вихід основної продукції була в 1,35 раза вищою, загальної фітомаси — в 1,56, к.о. — в 3,25 раза,

перетравного протеїну в 2 рази більше порівняно із 7- та 10-пільними сівозмінами, що свідчить про більш напружений обіг N за відсутності багаторічних трав у структурі сівозмін. У сівозмінах з тривалою ротацією витрата  $E_6-N$  на формування побічної продукції становила 0,05 одиниць, а коренів — 0,22 одиниці (1 до 17); у 3–5-пільних сівозмінах навпаки, на одиницю  $E_6-N$  приходився у 3,4 раза більший вихід побічної продукції та в 1,38 раза менший вихід кореневої маси (1 до 4,5), що свідчить про оптимізацію співвідношення структури загальної нетоварної фітомаси. Коли кількість азоту в побічній продукції знижується до 20–25 кг/га, то порушується баланс між іммобілізацією і мінералізацією азоту в агроценозах різноротаційних сівозмін [14], але всі варіанти сівозмін, які було досліджено, перевищували цей критерій.



**Залежність продуктивності та вмісту азоту в складових загальної фітомаси від  $E_6-N$  у різноротаційних сівозмінах (загальна модель):** — N основної продукції, кг/га (L); — N побічної продукції, кг/га (L); — N коренів, кг/га (L); — N загальної фітомаси, кг/га (L); — вихід к.о., т/га (R); — перетравний протеїн, т/га (R)

## Висновки

У 7- та 10-пільних сівозмінах типовий інтервал зміни  $E_6-N$  становить 456–621 кг/га за коефіцієнта варіації 22,9%, а надходження азоту в агроценоз сівозміни корелює ( $R=+0,92\pm 0,03$ ) з виносом азоту основною продукцією. Ємність балансу на рівні прямої сильної кореляції пов'язана зі зростанням продуктивності. Максимальна продуктивність сівозмін за виходом кормових і кормопротеїнових одиниць досягається за ємності балансу понад 580 кг/га.

У 3–5-пільних сівозмінах баланс азоту по всіх варіантах сівозмін був додатнім, а ємність балансу при максимальній

продуктивності за виходом як кормових, так і зернопротеїнових одиниць становила 590–705 кг/га. У 7- та 10-пільних сівозмінах співвідношення вилучення азоту до надходження схильється на користь вилучення, тоді як у 3–5-пільних сівозмінах, навпаки, на користь надходження азоту. Продуктивність короткоротаційних сівозмін за виходом к. о. з 1 га тісно корелювала як зі статтями надходження азоту ( $R=+0,75-0,83\pm 0,03$ ), так і його витратами ( $R=+0,69-0,78\pm 0,03$ ), тоді як у сівозмінах із тривалою ротацією продуктивність корелювала зі складовими на рівні середніх значень.

Демиденко А.В.<sup>1</sup>, Шаповал І.С.<sup>2</sup>, Бойко П.І.<sup>3</sup>, Величко В.А.<sup>4</sup>

<sup>1, 2</sup> Черкасская государственная сельскохозяйственная опытная станция ННЦ «Институт земледелия НААН», ул. Докучаева, 13, с. Холоднянское Смелянского р-на Черкасской обл., 20731, Украина, <sup>3</sup> ННЦ «Институт земледелия НААН», ул. Машиностроителей, 2б, пгт Чабаны Киево-Святошинского р-на Киевской обл., 08162, Украина, <sup>4</sup> ННЦ «Институт почвоведения и агрохимии имени А.Н. Соколовского НААН», ул. Чайковская, 4, г. Харьков, 61024, Украина; e-mail: <sup>1, 2</sup>smilachipv@ukr.net, <sup>3</sup>izaan@ukr.net, <sup>4</sup>agrovisnyk@ukr.net

### Оборот азота в разноротационных севооборотах Левобережного Лесостепи

**Цель.** Установить нормативные параметры типизации баланса азота (N) в агроценозах разноротационных севооборотов, как составляющей методологии агроэкологической оценки их производительности при использовании побочной продукции в качестве органических удобрений в условиях современного климата Лесостепи Украины. **Методы.** Обобщение результатов многолетних исследований в полевом стационарном опыте, статистический: дисперсионный, корреляционный, факторный, кластерный анализы параметров и количественных статей баланса азота. **Результаты.** В 7- и 10-польных севооборотах типичный интервал изменения емкости баланса составляет 456–621 кг/га, а поступления азота в агроценозы севооборотов коррелирует ( $R=+0,82\pm 0,03$ ) с выносом азота основной продукцией. Емкость баланса на уровне прямой сильной корреляции связана с ростом производительности севооборотов. Максимальная производительность севооборотов по выходу кормовых и кормопротеиновых единиц достигается при емкости баланса более 580 кг/га.

В 3–5-польных севооборотах баланс азота был положительным, а емкость баланса при максимальной производительности за выходом кормовых и зернопротеиновых единиц составляла 590–705 кг/га, что связано с отсутствием многолетних трав. **Выводы.** В севооборотах с длинной ротацией соотношение выноса азота к поступлению склоняется в пользу выноса, тогда как в 3–5-польных севооборотах, наоборот, в пользу поступления азота.

**Ключевые слова:** азот, емкость баланса, интенсивность баланса, севообороты, нормативные параметры баланса.

<https://doi.org/10.31073/agrovisnyk201807-09>

Demydenko O.<sup>1</sup>, Shapoval I.<sup>2</sup>, Boiko P.<sup>3</sup>, Velychko V.<sup>4</sup>

<sup>1, 2</sup> Cherkasy state agricultural experimental station of NSC «Institute of agriculture of NAAS», Dokuchaiev Str., 13, Kholodnianske, Smelianskiy region, Cherkasy oblast, 20731, Ukraine, <sup>3</sup> NSC «Institute of agriculture of NAAS», Mashynobudivnykiv Str., 2b, Chabany, Kyiv-Sviatoshyin region, Kyiv oblast, 08162, Ukraine, <sup>4</sup> NSC «O. Sokolovskyi Institute of soil science and agrochemistry of NAAS», Chaikovska Str., 4, Kharkiv, 61024, Ukraine; e-mail: <sup>1, 2</sup> smilachipv@ukr.net, <sup>3</sup> izaan@ukr.net, <sup>4</sup> agrovisnyk@ukr.net

### Cycle of nitrogen in different crop rotations of Left-bank Forest-steppe

**The purpose.** To determine normative parameters of typification of nitrogen balance (N) in agroecosis of different crop rotations, as a component of methodology of agro-ecological assessment of their productivity at use of collateral products as organic fertilizers in conditions of state-of-the-art climatic system of Forest-steppe of Ukraine. **Methods.** Generalization of results of long-term researches in field stationary experience, statistical: dispersing, correlative, factor, cluster analyses of parameters



and quantitative points of nitrogen balance. **Results.** In 7 and 10-field crop rotations the typical interval of change of capacity of balance is 456–621 kg/hectare, and receipt of nitrogen in agrocoenosis of crop rotations correlates ( $R=+0,82\pm0,03$ ) with removal of nitrogen with basic products. Capacity of balance at the level of direct strong correlation is linked to increase of productivity of crop rotations. The maximum productivity of crop rotations as to exit of feed and forage-protein units is attained at capacity of balance more than 580 kg/hectare. In 3–5-field crop rotations nitrogen balance was positive, and

capacity of balance at the maximum productivity as to exit of feed and grain-protein units made 590–705 kg/hectare that is linked to absence of perennial grasses. **Conclusions.** In crop rotations with long rotation the ratio of removal of nitrogen to receipt is declined in favor of removal, whereas in 3–5-field crop rotations, on the contrary, in favor of receipt of nitrogen.

**Key words:** nitrogen, capacity of balance, intensity of balance, crop rotations, normative parameters of balance.

<https://doi.org/10.31073/agrovisnyk201807-09>

## Бібліографія

1. Бенцаровський Д.М., Дацько Л.В., Кирієнко М.В. Баланс азоту в землеробстві України. *Збірник наукових праць ННЦ «Інститут землеробства УААН»*. 2006. Спецвипуск. С. 22–25.
2. Голубятников Л.Л., Мохов И.И., Елисеев А.В. Цикл азота в земной климатической системе. *Известия РАН. Физика атмосферы и океана*. 2013. Т. 49. № 3. С. 255–270.
3. Thornton P.E., Doney S.C., Lindsay K. et al. Carbon-nitrogen interactions regulate climate-carbon cycle feedbacks: results from an atmosphere-ocean general circulation model. *Biogeosciences*. 2009. V. 6. P. 2099–2120.
4. Vitousek P.M., Howarth R.W. Nitrogen limitation on land and in the sea: How can it occur? *Biogeochemistry*. 1991. V. 13. P. 87–115.
5. Крапивин В.Ф., Свирижев Ю.М., Тарко А.М. Математическое моделирование глобальных биосферных процессов. Москва: Наука, 1982. 272 с.
6. Friedlingstein P., Cox P., Betts R.A. et al. Climate carbon cycle feedback analysis: Results from the C4MIP model intercomparison. *J. Climate*. 2006. V. 19. № 22. P. 3337–3353.
7. Canadell J.G., Pataki D.E., Gifford R. et al. Saturation of the terrestrial carbon sink; eds: Canadell J.G., Pataki D.E., Pitelka L. *Terrestrial ecosystems in a changing world. The IGBP Series*. V. XXIV. N.Y.: Springer-Verlag, 2007. P. 59–73.
8. Sabine C.L., Heimann M., Artaxo P. et al. Current status and past trends of the global carbon cycle; eds: Field C.B., Raupach M.R. *SCOPE* 62: The global carbon cycle. London: Island Press, 2004. P. 17–44.
9. Kapshtyk M.V., Demydenko O.V. The ways to ecologically balanced development of agro ecosystems in the Forest-steppe zone of Ukraine. *International J. of Agricultural Research and Review*: ISSN – 2360-7971: V. 2(8): P. 092–098, August, 2014.
10. Левин Ф.И. Количество растительных остатков в посевах полевых культур и их определение по урожаю основной продукции. *Агрохимия*. 1977. № 8.
11. Ивойлов А.В., Шильников И.А., Щелкунова А.А. Вынос азота, фосфора, калия и кальция культурами зернопропашного севооборота. *Агрохимия*. 1990. – N 1. С. 26–32.
12. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). Москва: Агропромиздат, 1985. 351 с.
13. Господаренко Г.М., Прокопчук І.В., Нікіміна О.В. Баланс азоту в ґрунті після тривалого застосування добрив у польовій сівозміні. *Збірник наукових праць Уманського національного університету садівництва*; О.О. Непочатенко (відп. ред.). Умань: Редакційно-видавничий відділ Уманського НУС, 2017. Вип. 90. Ч. 1: *Сільськогосподарські науки*. С. 7–14.
14. Грант С. Улучшение управления питательными веществами сельскохозяйственных культур. *Агроном*. 2009. № 1. С. 16–24.