



Землеробство, грунтознавство, агрохімія

УДК 631.452; 631.95

© 2019

ОПТИМІЗАЦІЯ БІОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ТРАНСФОРМАЦІЇ ОРГАНІЧНОЇ РЕЧОВИНИ У ЧОРНОЗЕМІ ВИЛУЖЕНОМУ

*В.В. Волкогон¹, А.М. Москаленко², С.Б. Дімова³,
О.В. Пиріг⁴, Ю.М. Халеп⁵, К.І. Волкогон⁶*

¹доктор сільськогосподарських наук, член-кореспондент НААН

²доктор економічних наук

^{3, 4, 6}кандидати сільськогосподарських наук

⁵кандидат економічних наук

*Інститут сільськогосподарської мікробіології та агропромислового виробництва НААН
вул. Шевченка, 97, м. Чернігів, 14027, Україна*

*e-mail: ¹volkogon@ukr.net, ²ekotam2017@gmail.com, ³dimova13@ukr.net,
⁴altrackman@gmail.com, ⁵markisgm@gmail.com, ⁶katerina_volkogon@ukr.net*

Надійшла 12.08.2019

Мета. Дослідити особливості емісії закису азоту з чорнозему вилуженого за зростаючих норм мінеральних добрив і надходження свіжої органічної речовини різного походження; визначити потрібну кількість вуглецю для оптимізації біологічних процесів при застосуванні туків. **Методи.** Польового досліджу, газохроматографічні, агрохімічні, розрахункові. **Результати.** За внесення органічних добрив (гною, соломи, маси люпинового сидерату та їх поєднання) зменшуються питомі ($\text{г N-N}_2\text{O} / \text{кг C-CO}_2$) втрати азоту з ґрунту. Найбільші питомі втрати $\text{N-N}_2\text{O}$ у досліді спостерігаються у варіантах із використанням мінеральних добрив. Водночас застосування туків у невисокій (100 кг/га д.р.) в ланці сівозміни та середній (200 кг/га д.р.) нормах по фоні 5 т/га соломи й 13 т/га люпинового сидерату сприяє зменшенню показників (навіть нижче від контрольного), що свідчить про іммобілізацію невикористаної рослинами частини мінеральних азотних сполук. При цьому для оптимізації співвідношення С/Н не потрібне додаткове застосування мінерального азоту. Поєднання найвищої в досліді норми мінеральних добрив (300 кг/га у ланці сівозміни) із соломою і сидератом не дає змоги знизити питомі втрати азоту до рівня контролю, що свідчить про надлишковість мінерального азоту в ґрунті в цьому випадку. Запропоновано формулу розрахунків необхідної кількості вуглецю для оптимізації співвідношення С/Н при застосуванні різних норм азотних добрив у технологіях вирощування сільськогосподарських культур, що забезпечує збалансованість мінералізаційних і синтетичних процесів у ґрунті. **Висновки.** За вирощування

сільськогосподарських культур на чорноземі вилуженому застосування розрахункових норм свіжої органічної речовини (гною, соломи, люпиново-го сидерату та їх поєднання, зокрема з мінеральними добривами) сприяє оптимізації перебігу мікробіологічних процесів в агроценозах. За цих умов невикористаний рослинами азот мінеральних сполук метаболічно зв'язується (імобілізується) мікроорганізмами, зменшується емісія N_2O , і норми мінеральних добрив, що не перевищують 200 кг/га д.р. у сівзміні, стають екологічно прийнятними.

Ключові слова: система удобрення, органічні та мінеральні добрива, гумус, емісія N_2O і CO_2 , співвідношення C/N.

DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk201911-01>

Нині питання відтворення родючості ґрунтів, у яких спостерігаються дефіцит свіжої органічної речовини, зміни в структурі і функціях угруповань мікроорганізмів за одностороннього трактування принципів забезпечення культурних рослин поживними речовинами, є дуже важливими. Унаслідок цього запаси гумусу в орних ґрунтах невпинно знижуються, що зумовлює потребу в забезпеченні ґрунтів свіжою органічною речовиною (гноєм, соломою, сидератами тощо) та умов оптимізації процесів її гуміфікації.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Гумус одночасно є акумулятором вуглецю (і відповідно енергії) і носієм тимчасово зв'язаних сполук біогенних елементів [1, 2]. Синтез гумусних сполук можливий лише за наявності в ґрунті свіжої органічної речовини. Проте надходження її до ґрунтів нині обмежене через різке зменшення обсягів застосування гною, ігнорування сівзміні, зведення до мінімуму площ вирощування трав, спалювання соломи тощо. При цьому активно проходять процеси дегуміфікації [2–5]. Підсилює деградацію гумусу також і підкислення ґрунтів [6, 7]. Ці процеси ще більше посилюються за внесення підвищених доз азотних добрив, що призводить до інтенсивної деструкції усіх високомолекулярних фракцій гумусних кислот [8–11]. Установлено, що кожна одиниця азоту добрив сприяє вивільненню від 0,1 до 1,2 од. ґрунтового азоту за рахунок мінералізації гумусу [12]. Можна стверджувати, що за високих норм мінерального азоту інтенсивно розвивається біологічна дегуміфікація ґрунтів, оскільки за надлишку рухомого азоту в ґрунті у ґрунтових мікроорганізмів виникає

посилена потреба у вуглеці, а за відсутності свіжої органічної речовини окремі їх представники використовують гумусні сполуки як джерело вуглецю та енергії [13–15]. Тому набувають актуальності дослідження, спрямовані на пошук шляхів забезпечення ґрунтів органічною речовиною та оптимізації процесів гумусоутворення.

Мета досліджень — визначити спрямованість окремих біологічних процесів у ґрунті за різних систем удобрення сільськогосподарських культур та розробити модель оптимізації співвідношення «вуглець/азот» для різних норм мінерального азоту, використовуваних в аграрних технологіях.

Матеріали та методи досліджень. Упродовж 2016–2018 рр. проводили дослідження у польовому стаціонарному досліді на чорноземі вилуженому дослідного поля Інституту сільськогосподарської мікробіології та агропромислового виробництва НААН в умовах короткоротаційної сівзміни (картопля — ячмінь ярий — горох — пшениця озима) в агроценозах картоплі, ячменю ярого та гороху.

Агрохімічна характеристика ґрунту: pH_{con} — 5,3; уміст гумусу — 3,03%; легкогідролізованого азоту — 95 мг/кг ґрунту; рухомих сполук фосфору (P_2O_5) — 150 мг/кг ґрунту; уміст обмінного калію (K_2O) — 108 мг/кг ґрунту.

Сільськогосподарські культури вирощували за таких систем удобрення: без добрив; солома; сидерат; гній; солома + сидерат; гній + сидерат; мінеральна невисока (100 кг/га NPK у ланці сівзміни); мінеральна невисока + солома + сидерат; мінеральна середня (200 кг/га NPK у ланці сівзміни);

мінеральна середня + солома + сидерат; мінеральна інтенсивна (300 кг/га NPK у ланці сівозміни); мінеральна інтенсивна + солома + сидерат; органо-мінеральна (гній + 100 кг/га NPK у ланці сівозміни); органо-мінеральна + сидерат.

Свіжу органічну речовину вносили під картоплю. Подрібнену солому в кількості 5 т/га заробляли в ґрунт відразу після збирання урожаю пшениці озимої (наприкінці липня) дискуванням, після чого у відповідних варіантах висівали на проміжний сидерат люпин вузьколистий. Сидеральну масу люпину (у середньому 13 т/га за роки досліджень) заробляли в ґрунт дискуванням із наступною неглибокою оранкою (15 см) пізно восени (кінець листопада). Водночас у відповідних варіантах вносили і заробляли в ґрунт підстилковий гній великої рогатої худоби з розрахунку 40 т/га.

У динаміці за використання газохроматографічних методів визначали інтенсивність емісії N_2O і CO_2 з ґрунту залежно від агрофонів, розраховували питомі втрати азоту на одиницю вуглекислого газу ($г N-N_2O/кг C-CO_2$) [16].

У досліді проводили облік урожаю сільськогосподарських культур, маси коренів, післязбиральних решток та визначали в них (а також у гної, соломі та масі люпинового сидерату) уміст вуглецю та азоту.

За вмістом вуглецю та азоту в органічних добривах, рослинних рештках, зокрема й кореневих, а також з урахуванням надходження до ґрунту технічного азоту розраховували співвідношення «вуглець/азот» для свіжої органічної речовини, що надійшла до ґрунту. З урахуванням отриманих результатів розробляли модель оптимізації вуглецево-азотного співвідношення в агроценозах.

Статистичну обробку отриманих результатів здійснювали з використанням комп'ютерної програми Office Excel 2003–2007.

Результати досліджень. Дослідження в динаміці емісії N_2O і CO_2 в ґрунті під картоплю залежно від агрофонів свідчить про різну інтенсивність процесів. При цьому, чим більше вуглецю надходить до ґрунту, тим більшою є емісія вуглекислого газу. Відповідно, чим більше сполук азоту вноситься з добривами, тим більшою є втрата

цього елемента. Це цілком закономірні залежності. Проте зовсім інші особливості простежуються за визначення емісійного співвідношення газів. Цей розрахунок дає змогу визначити питомі втрати азоту у формі N_2O (на одиницю вивільненого CO_2). Отримані результати показують, як іммобілізується азот залежно від забезпечення ґрунту свіжою органічною речовиною, тобто характеризують стан первинних етапів синтезу органічної речовини *de novo*.

Як свідчать отримані дані, унесення соломи сприяє зменшенню питомих втрат $N-N_2O$ порівняно з показниками контролю, тобто спостерігається прояв іммобілізації азоту (табл. 1). Деяке перевищення питомих втрат газоподібного азоту спостерігається за внесення гною і люпинового сидерату. Проте найбільші втрати $N-N_2O$ порівняно з контролем відзначаємо у варіантах із використанням мінеральних добрив. Водночас застосування туків у невисокій та середній нормах ($N_{40}P_{40}K_{40}$ і $N_{80}P_{80}K_{80}$) по фону соломи й люпинового сидерату сприяє зменшенню показників, навіть нижче від контрольного. І лише поєднання найвищої в досліді норми мінеральних добрив із соломою і сидератом не дає змоги знизити питомі втрати азоту до рівня контролю, що свідчить про надлишковість мінеральних азотних сполук у ґрунті в цьому випадку.

Дослідження емісії закису азоту і вуглекислого газу в ґрунті під наступною в сівозміні культурою — ячменем ярим свідчить про те, що питомі втрати газоподібного азоту є незначними у варіантах із післядією соломи і сидеральної біомаси. Слід зазначити, що вони навіть менші за показники контрольного варіанта, що свідчить про іммобілізацію азотних сполук і уникнення значних їх втрат за цих умов (див. табл. 1).

За 1-го року післядії гною спостерігається незначне підвищення питомих втрат газоподібного азоту порівняно з контролем, проте досліджувані показники в цьому варіанті є одними з найменших у досліді.

За використання $N_{30}P_{30}K_{30}$ питомі втрати газоподібного азоту істотно зростають. Із застосуванням цієї норми добрив по фону післядії соломи і сидеральної біомаси знижуються питомі втрати азоту (показники навіть нижчі за контрольні). Аналогічна

ситуація спостерігається за використання середньої в досліді норми мінеральних добрив. І лише з унесенням $N_{90}P_{90}K_{90}$ по фоні післядії соломи і сидерату не зменшуються питомі втрати азоту нижче контрольних показників.

Дослідження питомих втрат $N-N_2O$ з ґрунту під горохом загалом має такі самі особливості, як і в агроценозах ячменю ярого (див. табл. 1).

Визначення емісії N_2O і CO_2 та розрахунок питомих втрат $N-N_2O$ залежно від агрофону в інші роки показують аналогічні залежності.

Поліпшення живлення рослин за органічного, мінерального та органо-мінерального удобрення позитивно впливає на продуктивність картоплі (табл. 2). При цьому лише внесення 5 т/га соломи не

забезпечує достовірного приросту врожайності культури.

За вирощування ячменю ярого післядія соломи також не забезпечує достовірного приросту врожайності культури, проте післядія поєднання соломи з масою проміжного сидерату сприяє отриманню достовірного приросту зерна цієї культури. Одні з найвищих у досліді приростів урожайності культури спостерігаються за використання мінеральних добрив по фоні 1-го року післядії органічних добрив. Так, зокрема, застосування найменшої норми туків забезпечує приріст 23,7%, а внесення цієї самої норми по фоні післядії соломи із сидератом — 57,5%. При цьому рівень урожайності навіть перевищує такий у варіанті з нормою добрив $N_{60}P_{60}K_{60}$. Поєднання мінеральних добрив у середній нормі з післядією соломи

1. Емісія N_2O і CO_2 з ґрунту та питомі втрати $N-N_2O$ залежно від агрофону

Варіант досліду (система удобрення)	Сільськогосподарські культури								
	картопля			ячмінь ярий			горох		
	емісія $N-N_2O$, г/га за добу	емісія $C-CO_2$, кг/га за добу	питомі втрати азоту*	емісія $N-N_2O$, г/га за добу	емісія $C-CO_2$, кг/га за добу	питомі втрати азоту	емісія $N-N_2O$, г/га за добу	емісія $C-CO_2$, кг/га за добу	питомі втрати азоту
Без добрив (контроль)	91,6	45,4	2,02	88,2	40,8	2,16	40,7	21,5	1,90
Солома	98,9	66,5	1,49	91,3	50,8	1,80	38,5	33,0	1,17
Сидерат	152,5	71,8	2,12	104,2	52,1	2,00	33,6	31,8	1,06
Гній	219,2	99,1	2,21	174,8	77,1	2,27	74,7	50,6	1,48
Солома + сидерат	147,1	80,9	1,82	135,0	58,9	2,29	33,9	28,3	1,20
Гній + сидерат	205,1	117,3	1,75	157,3	83,3	1,89	79,0	52,6	1,50
Мінеральна невисока	182,2	65,8	2,32	125,5	45,2	2,78	79,5	34,2	2,32
Мінеральна невисока + + солома + сидерат	164,9	108,2	1,52	120,9	78,6	1,54	63,5	43,8	1,45
Мінеральна середня	191,5	78,7	2,43	162,8	50,87	3,20	143,7	44,5	3,23
Мінеральна середня + + солома + сидерат	170,1	97,6	1,74	142,4	70,6	2,02	118,0	66,7	1,77
Мінеральна інтенсивна	211,1	83,2	2,54	206,4	56,9	3,63	219,4	53,45	4,11
Мінеральна інтенсивна + + солома + сидерат	196,9	93,8	2,10	184,3	65,4	2,82	182,5	81,1	2,25
Органо-мінеральна (гній + NPK)	254,1	123,3	2,06	185,9	89,3	2,08	82,2	51,4	1,60
Органо-мінеральна + + сидерат	232,6	152,8	1,52	178,3	97,0	1,84	78,0	62,4	1,52
HIP ₀₅	14,2	8,5		10,4	8,0		7,5	5,8	

*г $N-N_2O$ /кг $C-CO_2$ за добу.

2. Урожайність сільськогосподарських культур залежно від агрофону, т/га (середнє за 3 роки)

Варіант досліду (система удобрення)	Сільськогосподарські культури									
	картопля			ячмінь ярий			горох			
	урожайність	приріст до контролю		урожайність	приріст до контролю		урожайність	приріст до контролю		
		т/га	%		т/га	%		т/га	%	
Без добрив (контроль)	13,0	—	—	2,07	—	—	1,68	—	—	
Солома	13,4	0,4	3,1	2,21	0,14	6,8	1,95	0,27	16,1	
Сидерат	14,6	1,6	12,3	2,41	0,34	16,4	1,98	0,30	17,9	
Гній	22,8	9,8	75,4	3,40	1,33	64,3	2,12	0,44	26,2	
Солома + сидерат	16,2	3,2	24,6	2,67	0,60	29,0	2,01	0,33	19,6	
Гній + сидерат	24,0	11,0	84,6	3,64	1,57	75,9	2,34	0,66	39,3	
Мінеральна невисока	15,7	2,7	20,8	2,56	0,49	23,7	2,57	0,89	53,0	
Мінеральна невисока + солома + сидерат	21,1	8,1	62,3	3,26	1,19	57,5	2,81	1,13	67,3	
Мінеральна середня	24,6	11,6	89,2	2,94	0,87	42,0	2,85	1,17	69,6	
Мінеральна середня + солома + сидерат	29,1	16,1	123,8	3,56	1,49	72,0	3,06	1,38	82,1	
Мінеральна інтенсивна	29,2	16,2	124,6	3,57	1,50	72,5	3,11	1,43	85,1	
Мінеральна інтенсивна + солома + сидерат	34,2	21,2	163,1	3,89	1,82	87,9	3,28	1,60	95,2	
Органо-мінеральна (гній + NPK)	29,4	16,4	126,2	4,02	1,95	94,2	2,88	1,20	71,4	
Органо-мінеральна + сидерат	31,6	18,6	143,1	4,17	2,10	101,5	2,94	1,26	75,0	
HIP ₀₅	1,13			0,21			0,16			

з люпиновим сидератом сприяє отриманню такого самого рівня урожайності, як і за внесення у ґрунт туків нормою $N_{90}P_{90}K_{90}$ — 3,56 і 3,57 т/га відповідно (див. табл. 2).

Поліпшення живлення рослин гороху за післядії органічного, прямого впливу мінерального удобрення та за органо-мінеральної системи позитивно вплинуло на продуктивність культури (див. табл. 2).

Як зазначалося вище, під час здійснення заходів щодо підвищення продуктивності агроценозів потрібно передусім стабілізувати або підвищити вміст гумусу в ґрунті [4, 5, 17].

Відповідно до цього слід підтримувати збалансоване співвідношення «вуглець/азот» для свіжої органічної речовини, яка надходить до ґрунту, що сприятиме синтезу гумусних сполук. У зв'язку з цим ми досліджували співвідношення C/N в органічній речовині, які надходять до ґрунту під

час вирощування досліджуваних сільськогосподарських культур за різних агрофонів, а також простежували, як це узгоджується з результатами дослідження біологічних процесів.

Сумарні показники надходження вуглецю до ґрунту спостерігаються за використання в досліді органічних добрив. Це цілком зрозуміло, оскільки в даному разі ґрунт забезпечується додатковою кількістю вуглецю. Крім того, органічні добрива впливають на ризогенез і розвиток наземної частини рослин, що зумовлює збільшення надходження до ґрунту органічної речовини. Проте надходження вуглецю також певною мірою збільшується і зі зростанням норм туків. Це пояснюється впливом мінеральних добрив на розвиток кореневої системи і на збільшення маси післязбиральних решток.

Визначення вмісту азоту в кореневих і післязбиральних рештках, гної, соломі та

сидеральній масі і внесення мінерального азоту (нами враховано відомі агрохімічні дані щодо ступеня використання рослинами азоту з добрив — 50%) свідчить про різну кількість надходження цього елемента в агроценози, що зумовлюється можливостями технологій вирощування сільськогосподарських культур. Проте найцікавішим при цьому є співвідношення «надходження вуглецю/надходження азоту». Швидкість мінералізації рослинних решток залежить від співвідношення C/N. Чим воно вужче, тим інтенсивніше і повніше проходить мінералізація органічної речовини. Вважається, що в ґрунті оптимізація процесів мінералізації—синтезу органічної речовини проявляється за співвідношення C/N на рівні 20–30/1 [13, 18].

Згідно з отриманими результатами, оптимальним співвідношенням «вуглець/азот» для свіжої органічної речовини, що надійшла до ґрунту, характеризуються варіанти, де передбачено застосування соломи, сидеральної біомаси, їх поєднання, а також використання як добрива 40 т/га гною великої рогатої худоби. Отримані результати чітко узгоджуються з даними щодо питомих втрат азоту у формі N_2O .

За внесення мінерального азоту без забезпечення ґрунту свіжою органічною речовиною невикористані рослинами мінеральні азотні сполуки, *по-перше*, звужують співвідношення C/N для тієї невеликої кількості органічної речовини, що забезпечують рослинні рештки (а це призводить до її швидкої мінералізації); *по-друге*, мінеральний азот, який не використали рослини і який не змогли іммобілізувати мікроорганізми за наявної незначної кількості свіжої органічної речовини, втрачається у формі закису азоту (частина його також може вимиватися); *по-третьє*, невикористаний ані рослинами, ані мікроорганізмами азот здатний в умовах дефіциту свіжої органічної речовини призвести до мінералізації консервативних органічних сполук — гумусу [13].

Застосування мінеральних добрив по фоні соломи в поєднанні з біомасою люпину сприяє значному коригуванню ситуації. Так, у варіанті з найменшою нормою туків додаткове забезпечення ґрунту свіжою органічною речовиною розширює

співвідношення C/N до показника 21,5/1, що практично створює ідеальні умови проходження процесів мінералізації—синтезу органічної речовини. У варіанті із середньою в досліді нормою мінеральних добрив співвідношення «вуглець/азот» перебуває на рівні 16,8/1. Таке вузьке співвідношення елементів призводить до швидкої мінералізації наявної в ґрунті органічної речовини і потенційно до його дегуміфікації. Проте поєднання зазначеної норми туків з 5 т/га соломи і 13 т/га біомаси люпинового сидерату істотно поліпшує ситуацію — співвідношення C/N за цих умов становить 19,9/1 і практично наближається до оптимуму.

Використання високої норми мінеральних добрив, навіть по фоні додаткового надходження органічної речовини, не забезпечує бажаних показників. Співвідношення «вуглець/азот» для наявної в ґрунті свіжої органічної речовини звужується, чим забезпечується швидка мінералізація і без того дефіцитного органічного вуглецю. Така спрямованість біологічних процесів може бути однією з причин зменшення вмісту гумусу в ґрунтах сучасних агроценозів.

З урахуванням зазначених вище показників надходження вуглецю і азоту в агроценози нами запропоновано формулу розрахунку бажаної кількості вуглецю для оптимізації співвідношення C/N при застосуванні різних норм технічного азоту:

$$C = CN \cdot k_1 \cdot k_2 - k_3,$$

де C — кількість вуглецю, яку потрібно внести з органічними добривами з розрахунку на 1 кг унесеного технічного азоту для досягнення планового співвідношення C/N, кг; CN — показник запланованого співвідношення C/N; k_1 — поправний коефіцієнт, що враховує уміст азоту та вуглецю в органічних добривах та їх додаткове надходження унаслідок впливу органічних добрив на продукційний процес вирощування сільськогосподарських культур; k_2 — надходження азоту в агроценоз за внесення 1 кг технічного азоту (враховує 50% мінерального азоту, що не бере участі в продукційному процесі культур; азот кореневих і післязбиральних решток та побічної продукції, кг); k_3 — надходження вуглецю в агроценоз унаслідок унесення 1 кг технічного азоту (враховує

3. Рекомендовані норми внесення вуглецю з органічними добривами в ланці сівозміни для відповідної кількості технічного азоту з метою забезпечення оптимального співвідношення C/N

Внесено технічного азоту в ланці сівозміни, кг	Рекомендована норма внесення вуглецю, кг		Розрахункове C/N
	на 1 кг технічного азоту	у ланці сівозміни	
100	19,64	1964	20,6
110	19,29	2122	20,5
120	18,94	2273	20,5
130	18,59	2417	20,4
140	18,24	2554	20,4
150	17,89	2684	20,3
160	17,54	2806	20,3
170	17,19	2922	20,2
180	16,84	3031	20,1
190	16,49	3133	20,0
200	16,06	3212	20,0
210	15,71	3299	20,0
220	15,36	3380	20,0
230	15,01	3453	20,0
240	14,66	3519	20,0
250	14,32	3579	20,1
260	13,97	3631	20,1
270	13,62	3677	20,1
280	13,27	3715	20,1
290	12,92	3747	20,1
300	12,57	3771	20,1

вуглець кореневих і післязбиральних решток та побічної продукції, кг).

У спрощеному вигляді рекомендовані норми вуглецю для забезпечення

відтворення ґрунтової родючості (у даному разі чорнозему вилуженого) із застосуванням певних норм мінерального азоту, використаних нами в польовому стаціонарному досліді, наведено в табл. 3.

Порівнявши розрахункові показники вуглецю з реальними, що були в досліді, можна зробити такі висновки.

Для найменшої в досліді норми мінерального азоту для ланки сівозміни — 100 кг/га (40 кг під картоплю + 30 кг під ячмінь + 30 кг для гороху) надходження 3038 кг/га вуглецю (з 5 т/га пшеничної соломи та 13 т/га біомаси проміжного люпинового сидерату) з надлишком забезпечує оптимізацію C/N (потрібно 1964 кг/га сівозмінної площі).

Для середньої в досліді норми мінерального азоту для ланки сівозміни — 200 кг/га (80 кг під картоплю + 60 кг для ячменю + 60 кг для гороху) потреба у вуглеці свіжої органічної речовини становить 3212 кг/га сівозмінної площі. Оскільки з 5 т/га соломи і 13 т/га маси проміжного сидерату надходить 3038 кг вуглецю, у ґрунті спостерігатиметься незначний дефіцит вуглецю (174 кг) для бажаного співвідношення C/N (3212–3038=174).

Для найвищої в досліді норми мінерального азоту — 300 кг/га для ланки сівозміни потрібно 3771 кг/га вуглецю свіжої органічної речовини. За використання 5 т/га соломи і 13 т/га маси люпинового сидерату не вдається досягти оптимальних показників у співвідношенні C/N. Дефіцит вуглецю становить 733 кг (3771–3038=733).

Отже, висновки щодо спрямованості біологічних процесів у ґрунті повністю підтверджуються розробленою моделлю оптимізації вуглецево-азотного співвідношення.

Висновки

Забезпечення чорнозему вилуженого свіжою органічною речовиною (гноєм, соломою, люпиновим сидератом та їх поєднаннями, зокрема з мінеральними добривами) сприяє оптимізації перебігу мікробіологічних процесів в агроценозах. За цих умов надлишок мінеральних сполук азоту метаболічно зв'язується (імобілізується) мікроорганізмами, зменшується

емісія N_2O , і норми мінеральних добрив, що не перевищують для середньої в досліді норми мінерального азоту для ланки сівозміни на рівні 200 кг/га (60–80 кг/га залежно від культури), стають екологічно прийнятними. При цьому внесення соломи не потребує додаткового забезпечення мінерального азоту для оптимізації співвідношення C/N.

Волкогон В.В.¹, Москаленко А.М.², Димова С.Б.³,
Пирог А.В.⁴, Халеп Ю.Н.⁵, Волкогон К.И.⁶

*Институт сільськогосподарської мікробіології
і агропромислового виробництва НААН,
ул. Шевченко, 97, г. Чернігов, 14027, Україна;
e-mail: ¹volkogon@ukr.net, ²ekomam2017@gmail.com,
³dimova13@ukr.net, ⁴altrackman@gmail.com,
⁵markisgm@gmail.com, ⁶katerina_volkogon@ukr.net*

Оптимізація біологічних процесів трансформації органічного речовини в чорноземі вилуженому

Цель. Изучить особенности эмиссии закиси азота из чернозема выщелоченного под влиянием возрастающих норм минеральных удобрений и поступления свежего органического вещества различного происхождения; определить необходимое количество углерода для оптимизации биологических процессов при использовании туков. **Методы.** Полевое опыта, газохроматографические, агрохимические, расчетные. **Результаты.** При внесении органических удобрений (навоза, соломы, массы люпинового сидерата и их сочетания) уменьшаются удельные (г N-N₂O / кг C-CO₂) потери азота из почвы. Наибольшие удельные потери N-N₂O в опыте отмечены в вариантах с использованием минеральных удобрений. В то же время применение туков в невысокой (100 кг/га д.в. в звене севооборота) и средней (200 кг/га д.в.) нормах по фону 5 т/га соломы и 13 т/га люпинового сидерата способствует уменьшению показателей (даже ниже контрольного), что свидетельствует об иммобилизации неиспользованной растениями части минеральных азотных соединений. При этом для оптимизации соотношения C/N не требуется дополнительного применения минерального азота. Сочетание самой высокой в опыте нормы минеральных удобрений (300 кг/га в звене севооборота) с соломой и сидератом не позволяет снизить удельные потери азота до уровня контроля, что свидетельствует об избыточности минерального азота в почве в этом случае. Предложена формула расчета необходимого количества углерода для оптимизации соотношения C/N при использовании различных норм азотных удобрений в технологиях выращивания сельскохозяйственных культур, что обеспечивает сбалансированность минерализационных и синтетических процессов в почве. **Выводы.** При выращивании сельскохозяйственных культур на черноземе выщелоченном применение расчетных норм свежего органического вещества (навоза, соломы, люпинового сидерата и их сочетания, в том числе с минеральными удобрениями) способствует оптимизации протекания микробиологических процессов в агроценозах. В этих условиях неиспользованный

растениями азот минеральных соединений метаболически связывается (иммобилизируется) микроорганизмами, уменьшается эмиссия N₂O, и нормы минеральных удобрений, не превышающие 200 кг/га д.в. в севообороте, становятся экологически приемлемыми.

Ключевые слова: система удобрения, органические и минеральные удобрения, гумус, эмиссия N₂O и CO₂, соотношение C/N.

DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk201911-01>

Volkohon V.¹, Moskalenko A.², Dimova S.³, Pyrih O.⁴,
Khalep Yu.⁵, Volkohon K.⁶

*Institute of agricultural microbiology and agro-industrial production of NAAS, 97 Shevchenko Str.,
Chernihiv, 14027, Ukraine; e-mail: ¹volkogon@ukr.net,
²ekomam2017@gmail.com, ³dimova13@ukr.net,
⁴altrackman@gmail.com, ⁵markisgm@gmail.com,
⁶katerina_volkogon@ukr.net*

Optimization of biological processes of transformation of organic substance into leached chernozem

The purpose. To study features of emission of nitrous oxide from leached chernozem under the influence of increasing doses of fertilizers and receipt of fresh organic substance of various parentage; to determine necessary amount of carbon for optimization of biological processes at use of solid mineral fertilizers. **Methods.** Field experiments, gas-stratigraphic analysis, agrochemical, computational. **Results.** Specific losses (g N-N₂O/kg C-CO₂) of nitrogen from soil are diminished at manuring (dung, straw, mass of Lupine green manure crop and their combinations). The greatest specific losses of N-N₂O in experiments were registered in alternatives with fertilizers. At the same time application of solid mineral fertilizers in low (100 kg/hectare a.a. in the link of crop rotation) and average (200 kg/hectare a.a.) doses on the background of straw (5 t/hectare) and Lupine green manure crop (13 t/hectare) secured decrease of indexes (even below control). That testified to fixation of part of mineral nitrogen compounds not used by plants. Thus for optimization of C/N ratio it is not required additional application of mineral nitrogen. Combination of the highest dose of fertilizers in experiment (300 kg/hectare in the link of crop rotation) with straw and green manure crop does not allow to lower specific losses of nitrogen to the level of control. That testifies to redundancy of mineral nitrogen in soil in that case. The formula of calculation of necessary amount of carbon for optimization of C/N ratio is offered at use of different doses of nitrogen fertilizers in crop production technologies. It ensures balance of mineralizing and synthetic processes in soil. **Conclusions.** Application of calculated doses of fresh organic substance (dung, straw, Lupine green manure crop and their combination, including mineral

fertilizers) secures optimization of microbiologic processes in agro-ecosystems at cultivation crops on leached chernozem. In such conditions the nitrogen of mineral joints not used by plants metabolically linked (immobilized) by microorganisms. Emission of N_2O , and doses of fertilizers, which do not exceed

200 kg/hectare a.a. in crop rotation, decreased, and became environmentally sound.

Keywords: fertilizer system, organic and mineral fertilizers, humus, emission of N_2O and CO_2 , C/N ratio.

DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovysnyk201911-01>

Бібліографія

1. Дегтярьов В.В. Гумус чорноземів Лісостепу і Степу України. Харків: Майдан, 2011. 360 с.
2. Булигін С.Ю., Величко В.А., Демиденко О.В. Агрогенез чорнозему. Київ: Аграрна наука., 2016. 356 с.
3. Шукла М.К., Балаєв А.Д., Демиденко О.В. Ґрунтоутворювальна і ґрунтозахисна роль соломи та інших пожнивних решток в агроценозах. *Вісник аграрної науки*. 2003. № 4. С. 27–32.
4. Тараріко Ю.О. Сучасні технології відтворення родючості ґрунтів та підвищення продуктивності агроєкосистем. Київ: Аграрна наука, 2004. 126 с.
5. Зарішняк А.С., Цвей Я.П., Іваніна В.В. Оптимізація удобрення та родючості ґрунту в сівозмінах. Київ: Аграрна наука, 2015. 208 с.
6. Мазур Г.А. Відтворення і регулювання родючості легких ґрунтів. Київ: Аграрна наука, 2008. 308 с.
7. Мазур Г.А., Григора Т.І., Ткаченко М.А., Кондратюк І.М. Гумусний стан сірого лісового ґрунту залежно від хімічної мінералізації та системи удобрення: зб. наук. праць ННЦ «Інститут землеробства УААН». 2009. Вип. 1, 2. С. 3–8.
8. Кудеяров В.Н., Биелек П., Соколов О.А. Баланс азота и трансформация азотных удобрений в почвах. Пущино, 1986. 160 с.
9. Гомонова Н.Ф., Овчинникова М.Ф. Влияние длительного применения минерального удобрения и известкования на химические свойства, групповой и фракционный состав гумуса. *Агротехника*. 1986. № 1. С. 85–90.
10. Мазур Г.А., Григора Т.І. Групо-фракційний склад і запаси гумусу в сірому лісовому ґрунті у зв'язку з інтенсивністю його використання. *Вісник Харківського національного аграрного університету імені В.В. Докучаєва*. 2011. № 1. С. 178–181.
11. Гасанова Е.С., Стекольников К.Е., Котов В.В. Фракционный и групповой состав гумуса чернозема выщелоченного и его трансформация под влиянием агротехнических приемов. *Доклады по экологическому почвоведению*. 2010. Вып. 13, № 1. С. 19–29.
12. Кудеяров В.Н., Благодатский С.А., Ларионова А.А. Изменение внутрипочвенных потоков азота при внесении азотных удобрений. *Агротехника*. 1990. № 11. С. 47–53.
13. Берестецкий О.А., Возняковская Ю.М., Доросинский Л.М. Биологические основы плодородия почвы. Москва: Колос, 1984. 287 с.
14. Туев Н.А. Гумус в почвенном плодородии и микробиологические процессы его минерализации. *Тр. ВНИИСХМ*. 1984. Т 54. С. 40–54.
15. Волкогон В.В., Британ Т.Ю., Пиріг О.В. Розвиток мікроорганізмів та спрямованість біологічних процесів у чорноземі вилуженому за моделювання дефіциту свіжої органічної речовини та впливу мінерального азоту. *Сільськогосподарська мікробіологія*. 2018. № 28. С. 3–16. <https://doi.org/10.35868/1997-3004.28.3-16>
16. Volkogon V.V., Pyrig O.V., Volkogon K.I., Dimova S.B. Methodological aspects of determining the processes of organic matter mineralization-synthesis in croplands. *Agricultural Science and Practice*. 2019. № 1. P. 3–9. <https://doi.org/10.15407/agrisp6.01.003>
17. Лыков А.М. Воспроизводство плодородия почв в Нечерноземной зоне. Москва: Россельхозиздат, 1982. 143 с.
18. Waksman S.A. Soil microbiology. London: Chapman &Hall, Limited, 1952. 356 p. <https://doi.org/10.1002/jpln.19540660213>