

ОПТИМІЗАЦІЯ АЗОТНОГО МІНЕРАЛЬНОГО УДОБРЕННЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР ЗА ПОКАЗНИКАМИ ІНТЕНСИВНОСТІ ПРОЦЕСІВ АЗОТФІКСАЦІЇ ТА ДЕНІТРИФІКАЦІЇ

**В. В. Волкогон, С. Б. Дімова, К. І. Волкогон, В. П. Горбань,
Н. П. Штанько, Н. В. Луценко, В. П. Сидоренко**

Інститут сільськогосподарської мікробіології та агропромислового виробництва НААН
вул. Шевченка, 97; м. Чернігів, 14035, Україна; e-mail: volkogon@ukr.net

Мета. Дослідити продуктивність процесу азотфіксації та втрати $N-N_2O$ за вирощування картоплі і гороху на чорноземі вилуженому за різних мінеральних агрофонів і використання мікробних препаратів; визначити компромісну в екологічному відношенні норму мінерального азоту, за якої емісійні втрати азотних сполук не будуть перевищувати надходження в агроценози «біологічного» азоту. **Методи.** Польового дослідження, газохроматографічні. **Результати.** Дослідження активності азотфіксації і емісії N_2O *in situ* в агроценозах картоплі і гороху за використання різних норм мінеральних добрив та мікробних препаратів з наступними розрахунками параметрів надходження «біологічного» азоту і емісійних втрат елементу свідчать про можливість визначення умов (доз мінерального азоту), за яких досягається рівність прибуткової і непродуктивної витратної частин балансу азоту. Таку кількість мінерального азоту можна вважати екологічно допустимою, її перевищення небажане через зменшення надходження «біологічного» азоту і зростання активності процесу денітрифікації. Для картоплі за вирощування на чорноземі вилуженому екологічно допустимою нормою азотних добрив слід вважати 80 кг/га, для гороху — 60 кг/га. Застосування мікробних препаратів у вирощуванні сільськогосподарських культур сприяє збільшенню діапазону екологічно допустимих норм мінерального азоту внаслідок формування умов, за яких ініційовані бактеризацією рослини потребують більшої кількості азотних сполук для забезпечення конструктивного метаболізму, що супроводжується, крім зростання активності азотфіксації, підвищенням засвоєння мінерального азоту з ґрунту. Водночас зменшується активність біологічної денітрифікації. За отриманими показниками розроблено модель оптимізації азотного мінерального удобрення сільськогосподарських культур. **Висновки.** Екологічно допустимі норми мінерального азотного удобрення сільськогосподарських культур доцільно визначати за показниками продуктивності процесу азотфіксації та втрат $N-N_2O$. Водночас емісійні втрати азотних сполук не повинні перевищувати рівні надходження в агроценози біологічно зв'язаного азоту.

Ключові слова: екологічно допустимі норми мінеральних добрив, азотфіксація, емісія N_2O , мінеральні добрива, картопля, горох, мікробні препарати.

Вступ. Сьогодні розрахунки необхідної кількості азотних мінеральних добрив у технологіях вирощування сільськогосподарських культур здійснюють переважно на запланований урожай. Є різні модифікації цього

методу, але принципова їх суть зводиться до оцінки виносу елементу із запланованим урожаем і необхідності його компенсації [1–3]. За умови 100 %-го використання добрив культурними рослинами об'єктивність за-

значених принципів не викликала б сумніву. Однак зважаючи на низький рівень засвоєння рослинами азоту з добрив (не перевищує 35–50 % [4; 5]) та обов'язкове врахування цього показника у відповідних розрахунках, що призводить практично до подвоєння розрахункової норми, доходимо висновку про планування значної частини норм туків на забруднення довкілля.

З іншого боку, в агрохімії та фізіології рослин не існує надійних критеріїв кількісного визначення фізіологічної доцільності мінерального азоту в технологіях вирощування сільськогосподарських культур. Обґрунтування норм азотного мінерального живлення за вмістом нітратів у продукції є актуальним лише для овочевих культур. Інформативним щодо цього може бути експрес-метод оцінки вмісту загального азоту в рослинах [1], проте і ця ідея значною мірою нівелюється неточністю знань фізіологічної потреби рослин в азоті.

У зв'язку з цим, набувають особливої актуальності знання щодо потреб культурних рослин у мінеральному азоті для наукового обґрунтування норм азотних добрив у технологіях вирощування сільськогосподарських культур.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Надійним індикатором екологічної доцільності застосування тих чи інших норм мінерального азоту може бути реакція ґрунтових ризосферних мікроорганізмів на концентрацію добрив у ґрунті. Водночас унікальними мікроорганізмами кореневих сфер рослин є азотфіксувальні бактерії. Їх особливість пояснюється здатністю до здійснення кількох етапів колообігу азоту. Так, азотфіксатори за достатнього забезпечення вуглецем і дефіциту азоту в середовищі можуть здійснювати енергоємний процес азотфіксації (зв'язування азоту з атмосфери); водночас поява надлишкової кількості сполук азоту репресує синтез нітрогенази (ферментного комплексу, відповідального за фіксацію азоту), і за цих умов мікроорганізми переходять до засвоєння зв'язаних сполук азоту, здійснюючи в т. ч. й процес біологічної денітрифікації. Іншими словами, природа є надзвичайно раціональною у здійсненні колообігу азоту і регулює процеси перетворення його сполук на ферментному рівні. Зважаючи, що ризосферні бактерії відображають практично

реакцію власне рослини щодо концентрацій сполук азоту, оскільки перебувають з нею в тісній просторовій і функціональній взаємодії, слід дійти висновку, що за реакцією мікроорганізмів можна відслідкувати й реакцію рослини на вміст мінерального азоту в ґрунті.

За цим принципом М. М. Умаровим зі співавт. [6] у 1986 р. сформульовано поняття оптимальних для перебігу процесу азотфіксації показників концентрації азотних добрив у ґрунті як норм, що відповідають фізіологічним потребам рослин. Такого ж висновку дійшли і філіппінські дослідники [7]. Проте, працюючи над питанням сумісності процесу азотфіксації і азотного мінерального удобрення, мікробіологи ставили перед собою за мету обґрунтувати таку норму добрив, за внесення якої в агроценози надійде найбільша кількість біологічного азоту, і тим самим поліпшити живлення рослин за рахунок цього джерела. Для визначення не лише фізіологічно оптимальної норми мінерального азоту, але й фізіологічно (екологічно) допустимої, запропоновано визначати в динаміці активність азотфіксації в кореневій зоні культурних рослин залежно від норм застосованих азотних добрив та порівнювати з показниками контрольного варіанту; водночас допустимою вважати таку кількість добрив, за внесення яких показники азотфіксації є не нижчими, ніж у контролі [8; 9].

Проте, крім визначення активності асоціативної азотфіксації, важливим для з'ясування доцільності застосування певних норм азотних добрив у технологіях вирощування сільськогосподарських культур може бути також і визначення активності емісії N_2O в агроценозах. Теоретично надлишкові кількості азотних добрив забезпечать найбільші втрати газоподібних сполук азоту, що необхідно враховувати в дослідженнях та розрахунках норм азотного удобрення.

Мета досліджень. Визначити продуктивність азотфіксації та емісійні втрати азоту в агроценозах, розробити модель оптимізації азотного удобрення культур за біологічними критеріями.

Матеріали й методи. Дослідження проводили у 2016–2019 рр. на чорноземі вилуженому ($pH_{\text{сол}} = 5,3$; вміст гумусу — 3,03 %; легкогідролізованого азоту — 95 мг/кг ґрунту; рухомих сполук фосфору (P_2O_5) — 150 мг/кг ґрунту; обмінного калію (K_2O) —

108 мг/кг ґрунту) з картоплею та горохом у стаціонарному польовому досліді.

Мінеральні добрива у вигляді нітроамфоски (вміст діючої речовини — $N_{16}P_{16}K_{16}$) вносили весною під культивуацію перед садінням картоплі відповідно до схеми досліду (40, 80 і 120 кг/га діючої речовини), а також перед посівом гороху у нормах 30, 60 і 90 кг/га д. р.

Польовий стаціонарний дослід має два блоки, в одному з яких культури вирощували без передпосівної бактеризації, в іншому — за використання мікробних препаратів — Біограну для картоплі (на основі *Azospirillum brasilense* 410) і Ризогуміну для гороху (біологічний агент — *Rhizobium leguminosarum* 250). Препарати зареєстровані в Україні і мають відповідну сертифікацію.

Ділянки в досліді розміщено рендомізованим способом. Площа дослідної ділянки складала 86,4 м². Повторність — чотирикрата.

У досліді в динаміці визначали нітрогеназну (азотфіксувальну) активність та емісію N₂O, проводили облік урожаю.

Для оцінки активності азотфіксації та емісії закису азоту в системі «ґрунт – рослина» застосовували метод закритих камер [10–12] у власній модифікації [13, с. 286–290]. Для цього використовували пластикові відра об'ємом 10 л, у дні робили отвір, у який вмонтовували гумовий корок для відбору газів, через який потім за допомогою шприца об'ємом 50 мл відбирали проби повітря. Камери «врізали» в ґрунт на глибину 5 см. Для кращої ізоляції системи і попередження втрат газів, що накопичувались у камерах, навколо камери робили «водяний корок». В середину камери ставили бюкс з водою, до якого перед початком експозиції додавали 20 г кальцій карбід (унаслідок реакції кальцій карбід з водою утворюється ацетилен, який відновлюється до етилену з інтенсивністю, що залежить від рівня нітрогеназної активності [14], а також інгібує фермент редуктазу оксиду азоту та зупиняє процес дисиміляції NO₃⁻ і NO₂⁻ на стадії відновлення оксиду азоту [12]). Час експозиції становив три години. Відібрані газові проби поміщали у попередньо вакуумовані флакони з гумовими корками, доставляли в лабораторію і аналізували газохроматографічно.

Кількість етилену у газових зразках визначали на газовому хроматографі «Chrom-5» (Чехія) з полум'яно-іонізаційним детектором. Сорбційні колонки зі сталі заповнювали сорбентом Poropak Q 60–80 mesh. Температура термостату — 40 °С. Витрата газів: водню — 15 см³/хв., азоту — 100 см³/хв., повітря — 500 см³/хв.

Продуктивність азотфіксації розраховували за формулою [13]:

$$ПА = \frac{E \cdot 28 \cdot V \cdot 10^{-9} \cdot 24 \cdot 10\,000}{3 \cdot V_1 \cdot S \cdot t}$$

де ПА — продуктивність азотфіксації, г/га за добу;

E — кількість етилену в пробі, що вводиться в хроматограф, нмоль;

28 — молекулярна маса азоту (N₂), г/моль;

V — об'єм газової фази в експозиційній камері, см³;

10⁻⁹ — число для переведення наномолів у молі;

24 — кількість годин у добі;

10 000 — площа 1 га в м²;

3 — стехіометричний коефіцієнт перерахунку показників кількості етилену в азот;

V₁ — об'єм дослідної проби, що вводиться в хроматограф, см³;

S — площа поперечного перерізу камери, м²;

t — час експозиції, год.

Кількість N₂O у пробах визначали на газовому хроматографі «Цвет-500 М» (Росія) з детектором електронного захвату. Сорбційні колонки зі сталі довжиною 3 м заповнювали сорбентом Poropak Q 60–80 mesh (Water Corporation, USA). Температура колонок — 40 °С, температура випарювача — 120 °С, детектора — 330 °С. Витрати газу-носія (аргон з метаном 95/5) — 35 см³/хв.

Емісію N₂O розраховували за формулою:

$$\frac{E \cdot V_1}{V_2 \cdot S \cdot t}$$

де E — кількість оксиду азоту в пробі, що аналізувалася, нмоль N₂O;

V₁ — об'єм камери, см³;

V₂ — об'єм проби, що вводять у хроматограф, см³;

S — площа поперечного перерізу камери, м²;

t — час експозиції.

Показники газохроматографічного визначення емісії N_2O використовували для розрахунків втрат азоту, беручи до уваги молекулярну масу N_2O та швидкість емісії газу з одного гектара за добу.

Статистичну обробку експериментальних даних проводили за використання дисперсійного аналізу та програми Microsoft Excel 2010.

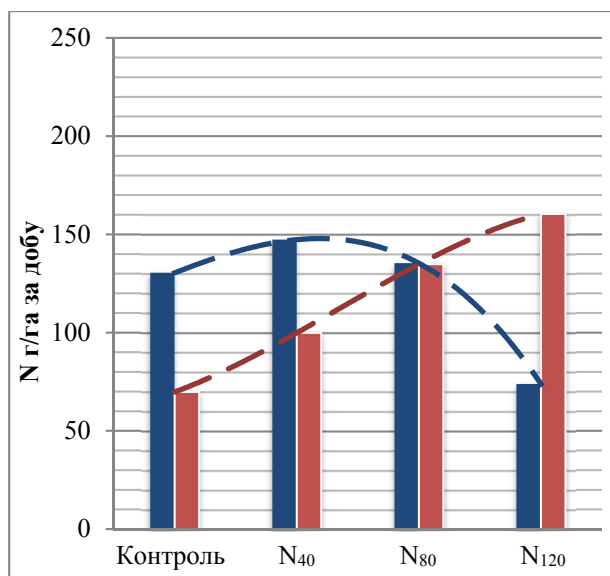
Результати та їх обговорення. Під час проведення досліджень нам було цікаво порівняти параметри привхідної і непродуктивної витратної частин балансу азоту в агроценозах (відповідно, продуктивності азотфіксації і втрат азоту у вигляді N_2O внаслідок перебігу процесу біологічної денітрифікації). І хоча активність азотфіксації у досліді визначалася непрямим методом (на відміну від емісії N_2O), вважаємо можливим порівнювати отримані результати.

Співставлення показників продуктивності азотфіксації і втрат азоту у вигляді N_2O , на нашу думку, може дозволити визначити екологічно доцільні норми мінерального азоту. Розглянемо це, аналізуючи залежність досліджуваних ланок колообігу азоту від мінерального удобрення картоплі (рис. 1 А).

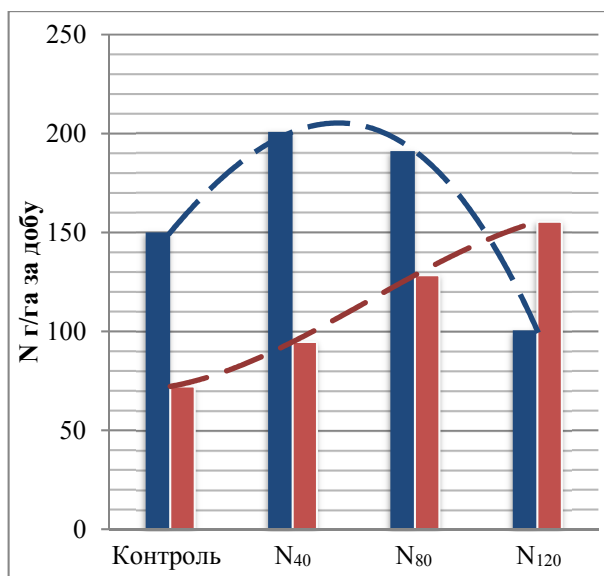
Показники продуктивності азотфіксації свідчать про їх зростання проти контролю у варіанті з використанням 40 кг/га мінерального азоту. За внесення в ґрунт 80 кг/га азоту

продуктивність процесу перебуває на рівні контролю. За використання 120 кг/га азоту добрив азотфіксація стрімко знижується. Теоретично зростання норм добрив понад 80 кг/га недоцільне з екологічних міркувань, оскільки зв'язування мікроорганізмами азоту з атмосфери може відбуватися лише в екологічно прийнятних умовах, коли в досліджуваній системі не спостерігається надлишку мінерального азоту (критерієм екологічності є варіант без добрив). Проте підкріплення цьому висновку надають показники втрат азоту ($N-N_2O$), тобто денітрифікації. Зі збільшенням норм технічного азоту газоподібні втрати зростають. Водночас місце перетину кривих залежності продуктивності азотфіксації і втрат елементу внаслідок денітрифікації на графіку та наступне проектування його на вісь ординат, на нашу думку, є об'єктивним показником меж екологічно допустимих норм азотних добрив. Як видно з рис. 1, цією нормою є 80 кг/га. Саме за використання цієї норми технічного азоту врівноважуються привхідна і непродуктивна витратна частини балансу азоту в агроценозі.

Моделювання ситуації за використання мікробного препарату Біограну свідчить про певні відмінності в оцінці екологічно допустимого азотного удобрення культури (рис. 1 Б). Так, зокрема, застосування біопрепарату



А



Б

Рис. 1. Модель оптимізації азотного удобрення картоплі за показниками активності процесів азотфіксації і денітрифікації, фаза цвітіння.

А — за вирощування без бактерізації; Б — за вирощування з Біограном.

в технології вирощування картоплі сприяє зростанню активності процесу азотфіксації. Крім того, ініційовані бактеризацією рослини потребують для конструктивного метаболізму більшої кількості мінерального азоту, ніж це має місце у небактеризованих рослин, що відомо з літератури [15; 16].

Отже, фізіологічні потреби рослин в азоті за використання Біограну зростають, відповідно, в ґрунті зменшується кількість азотного добрива і субстрату для біологічної денітрифікації. Наслідком цього є зменшення втрат азоту. За таких умов місце перетину кривих продуктивності азотфіксації і газоподібних втрат азоту на графіку зміщується вправо. Проекція місця перетину обох кривих на вісь ординат свідчить, що за умов бактеризації картоплі екологічно доцільними нормами мінерального азоту є такі, що не перевищують приблизно 100 кг/га.

Моделювання ситуації наприкінці вегетаційного періоду картоплі (рис. 2) демонструє такі ж особливості: за вирощування картоплі без бактеризації екологічно допустимими нормами мінерального азоту є такі, що не перевищують 80 кг/га, а за використання мікробного препарату Біограну — 100 кг/га.

Отже, технологія вирощування культури, що передбачає застосування Біограну, розширює діапазон екологічно допустимих норм мінерального азоту.

Отримані результати підтверджуються даними трирічних досліджень.

Теоретично подібного ефекту можна досягти, застосовуючи й інші агроприйоми, здатні підвищити ступінь засвоєння рослинами мінерального азоту і, відповідно, зменшити активність денітрифікації (або, наприклад, зв'язати його невикористану рослинами частину в ґрунті, застосовуючи органічну речовину з широким співвідношенням C/N).

Під час моделювання оптимізації азотного удобрення іншої культури — гороху, яка відрізняється від картоплі як потребами в азоті, так і типом азотного живлення, що включає засвоєння симбіотично зв'язаного азоту з повітря, можемо спостерігати у фазу цвітіння зростання активності азотфіксації за застосування невисоких норм технічного азоту і стрімке зниження показників за внесення в ґрунт норми на рівні 90 кг/га (рис. 3 А). Проекція місця перетину кривих залежності продуктивності азотфіксації і непродуктивних втрат елементу від норм добрив на вісь ординат свідчить, що екологічно допустимими є такі, що не перевищують N_{60} .

Проте застосування для передпосівної бактеризації насіння гороху мікробного препарату Ризогуміну дозволяє збільшити екологічно допустимі норми мінерального азоту до рівня 75 кг/га (рис. 3 Б).

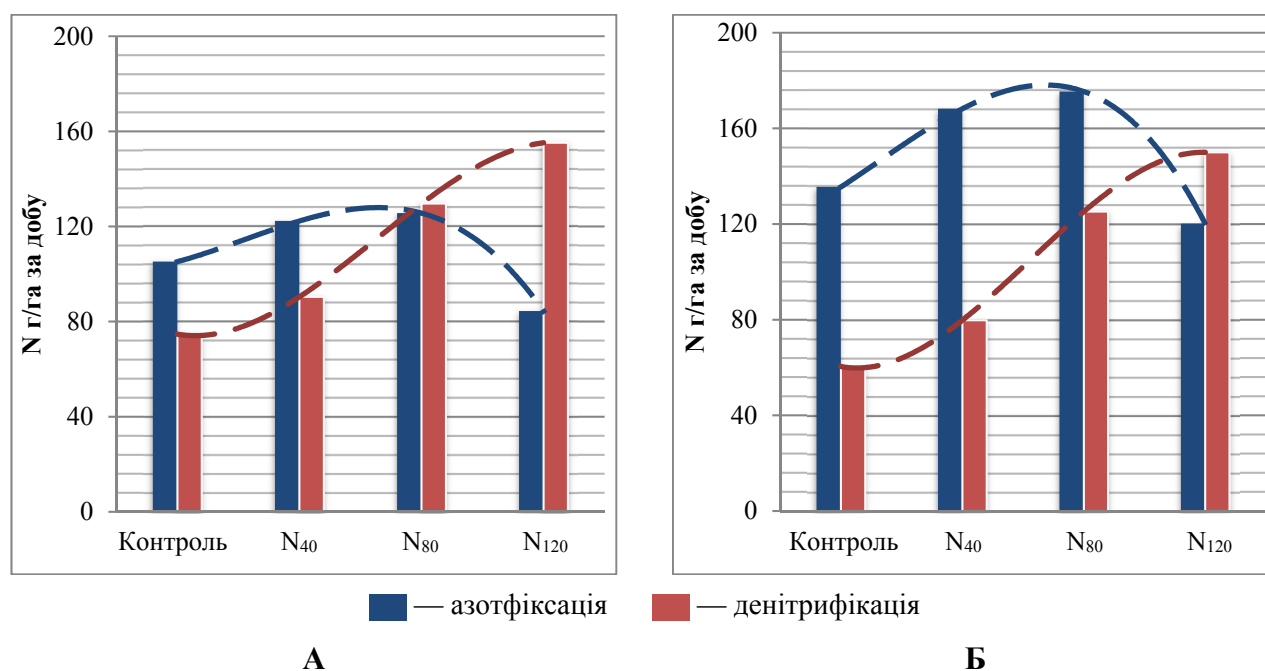


Рис. 2. Модель оптимізації азотного удобрення картоплі за показниками активності процесів азотфіксації і денітрифікації, фаза відмирання бадилля.

А — за вирощування без бактеризації; Б — за вирощування з Біограном.

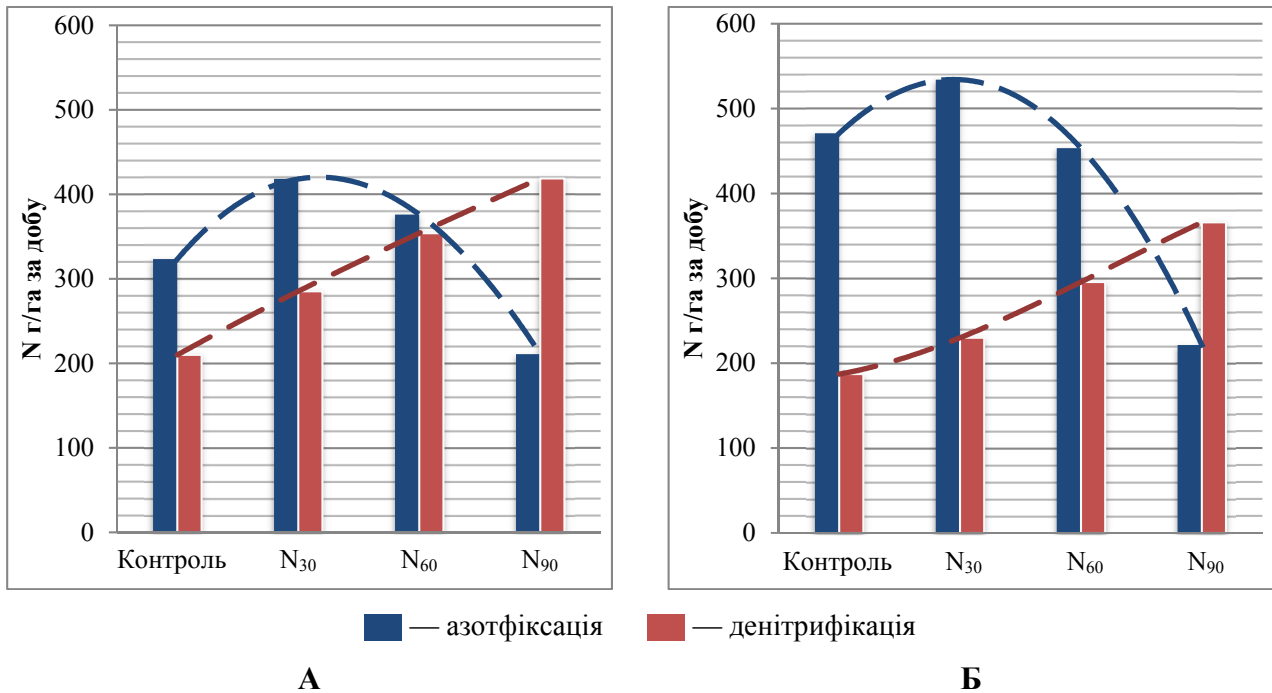


Рис. 3. Модель оптимізації азотного удобрення гороху за показниками активності процесів азотфіксації і денітрифікації, фаза цвітіння.

А — за вирощування без бактеризації; Б — за вирощування з Ризогуміном.

Водночас може виникнути таке питання: оскільки передпосівна бактеризація сприяє інтенсифікації процесу азотфіксації, чому зменшується активність біологічної денітрифікації? На нашу думку, попри зростання нітрогеназної активності, збільшується також і засвоєння мінеральних азотних сполук з ґрунту для забезпечення метаболічних потреб ініційованого рослинного організму, що опосередковано підтверджують результати обліку урожайності культури.

Моделювання ситуації у фазу утворення бобів демонструє практично такі ж особливості (рис. 4).

Отже, співставлення привхідної (азотфіксація) і непродуктивної витратної (денітрифікація) частин балансу азоту в агроценозах дозволяє визначити межу екологічно допустимого азотного мінерального удобрення сільськогосподарських культур.

Наскільки може задовольнити сільськогосподарське виробництво, орієнтоване на отримання високих показників урожайності культур, обґрунтовані нами рівні азотного удобрення? Розглянемо це, аналізуючи урожайність картоплі в польовому стаціонарному досліді (табл. 1).

Результати обліку урожайності культури свідчать, що найбільші прирости у блоці досліду без застосування Біограну спостеріга-

ються за використання N₈₀P₈₀K₈₀. Найвища норма туків також сприятливо позначається на продуктивності, але приріст урожаю до показника, відміченого за внесення середньої в досліді норми добрив, значно менший і не перевищує 13,1 %.

Застосування біопрепарату сприяє зростанню урожайності картоплі по всіх досліджених агрофонах. Цікаво, що Біогран, застосований по фоні N₈₀P₈₀K₈₀, забезпечує формування урожайності культури навіть більшою мірою, ніж це має місце за внесення лише мінеральних добрив у нормі N₁₂₀P₁₂₀K₁₂₀ — 25,8 т/га проти 24,2 т/га відповідно.

Застосування препарату по фоні найвищої норми мінеральних добрив сприяє отриманню статистично вірогідного додаткового урожаю на рівні 3,3 т/га.

Слід зазначити, що відносно невисока продуктивність азотфіксації в агроценозах картоплі, яка не перевищує 170 г азоту на гектар за добу (навіть якщо допустити, що протягом вегетаційного періоду це було постійним, то сумарна продуктивність не буде перевищувати 15 кг/га/сезон), не зможе забезпечити відмічені високі прирости урожаю. Цілком імовірно, що ініційовані бактеризацією рослини картоплі для конструктивного метаболізму використовували значно

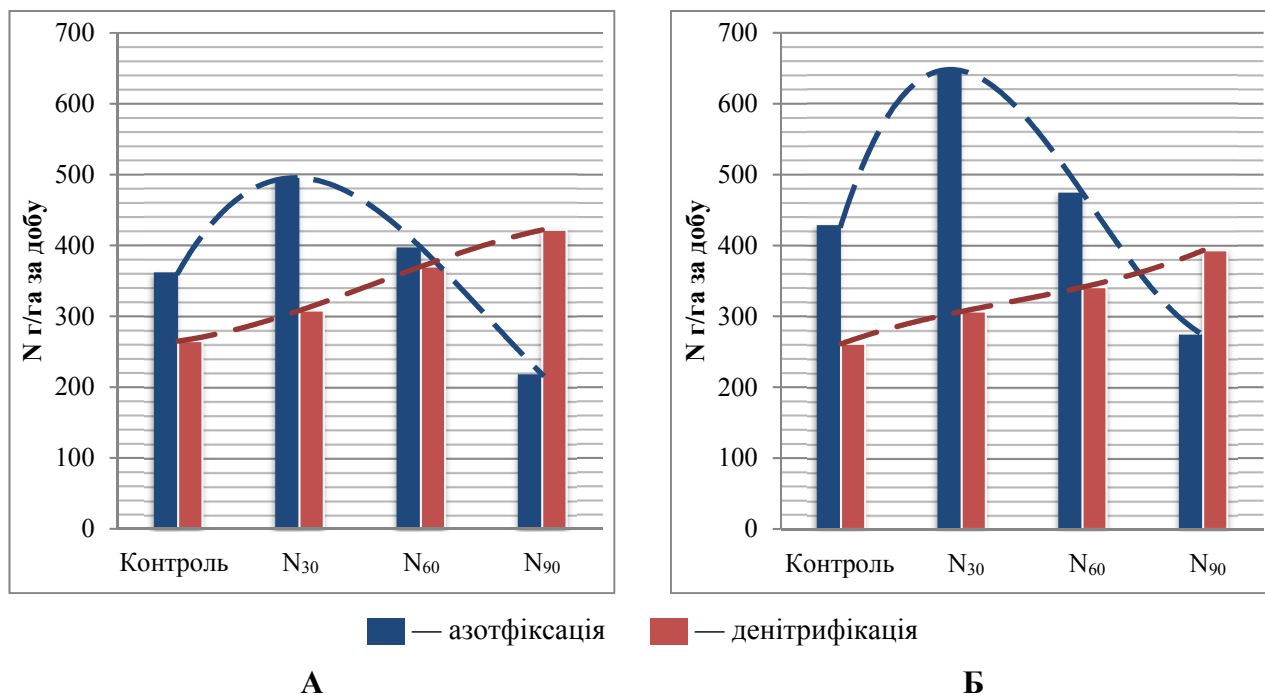


Рис. 4. Модель оптимізації азотного удобрення гороху за показниками активності процесів азотфіксації і денітрифікації, фаза утворення бобів.

А — за вирощування без бактеризації; Б — за вирощування з Ризогуміном.

Таблиця 1. Урожайність картоплі за різних норм мінеральних добрив та дії мікробного препарату Біограну

Норми мінеральних добрив	Урожайність, т/га (середнє за три роки)	Приріст від кожної наступної дози добрив*		Приріст від застосування Біограну	
		т/га	%	т/га	%
<i>Без інокуляції</i>					
Без добрив, контроль	11,6	—	—	—	—
N ₄₀ P ₄₀ K ₄₀	14,2	2,6	22,4	—	—
N ₈₀ P ₈₀ K ₈₀	21,4	7,2	50,7	—	—
N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀	24,2	2,8	13,1	—	—
<i>З Біограном</i>					
Без добрив	12,6	—	—	1,0	8,6
N ₄₀ P ₄₀ K ₄₀	16,5	3,9	31,0	2,3	16,2
N ₈₀ P ₈₀ K ₈₀	25,8	9,3	56,4	4,4	20,6
N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀	27,5	3,7	15,5	3,3	13,6
НІР ₀₅	1,9				

Примітка. У таблицях 1 і 2: * — у т. ч. й за сумісної дії з біопрепаратом.

більшу частку азоту з добрив, про що опосередковано може свідчити зменшення емісії N₂O з удобреного ґрунту (рис. 1 і 2).

Облік урожайності гороху свідчить про загалом схожі до вищеописаних залежності від удобрення, проте має і певні особливості (табл. 2). Передусім, продуктивність азотфіксації в агроценозах гороху є суттєво вищою проти продуктивності процесу під картоплею, що може вплинути на азотне живлення

рослин. Як вже було відзначено вище, значною мірою процес активізується за використання мікробного препарату. Водночас під час визначення продуктивності азотфіксації відзначено суттєве зниження показників надходження «біологічного» азоту за високих агрофонів. Екстраполяція особливостей перебігу біологічних процесів на показники залежності урожайності від досліджуваних чинників може свідчити про інтенсифікацію

Таблиця 2. Урожайність гороху за різних норм мінеральних добрив та дії мікробного препарату Ризогуміну

Норми мінеральних добрив	Урожайність, т/га (середнє за три роки)	Приріст від кожної наступної дози добрив*		Приріст від інокуляції	
		т/га	%	т/га	%
<i>Без інокуляції</i>					
Без добрив, контроль	1,99	–	–	–	–
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	2,42	0,43	21,6	–	–
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	2,63	0,21	8,7	–	–
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	2,82	0,19	7,2	–	–
<i>З Ризогуміном</i>					
Без добрив	2,26	–	–	0,27	13,6
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	2,88	0,62	27,4	0,46	19,0
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	3,03	0,25	8,7	0,50	19,0
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	3,22	0,19	6,3	0,40	14,2
НІР ₀₅	0,15				

засвоєння ініційованими бактеризацією рослинами також і мінеральних сполук азоту.

Отже, за використання Ризогуміну може бути інтенсифікованим як симбіотрофне живлення азотом рослин гороху, так і мінеральне.

Екологічно допустимі норми мінерального азотного удобрення, визначені за співставлення показників продуктивності азотфіксації та втрат N-N₂O, забезпечують їй одні з найбільших приростів урожаю сільськогосподарських культур

Висновки. Екологічно допустимі норми мінерального азотного удобрення сільськогосподарських культур доцільно визначати за показниками продуктивності процесу азотфіксації та втрат N-N₂O. За використання мікробних препаратів у технологіях вирощування сільськогосподарських культур діапазон екологічно допустимих норм мінерального азоту розширюється.

ЦИТОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Науково-методичні рекомендації з оптимізації мінерального живлення сільськогосподарських культур та стратегії удобрення / за заг. ред. М. М. Городнього. К., 2004. 140 с.

2. Созінов О. О., Козлов М. В., Лапа М. А., Тараріко Ю. О., Палапа Н. В., Цвей Я. П. Агро-екологічні основи раціонального використання добрив. *Агро-екологія і біотехнологія*. К. : Аграрна наука, 1996. С. 77–95.

3. Якість ґрунтів та сучасні стратегії удобрення / за ред. Д. Мельничука, Дж. Гофмана, М. Городнього. К. : Арістей, 2004. 488 с.

4. Башкин В. И. Агрогеохимия азота. Пушино : Изд-во АН СССР, 1987. 270 с.

5. Кореньков Д. А. Вопросы агрохимии азота и экология. *Агрохимия*. 1990. № 11. С. 28–37.

6. Umarov M., Shabaev V., Smolin V., Aseeva O. Incorporation of «biological» nitrogen by nonleguminous plants during associative N₂-Fixation. *IX Int. Symp. Soil Biol. and conservation of the Biosphere*. Pap. Sorpon. 1985. P. 65.

7. Ladha J. K., Tiror A. C., Caldo G., Watanabe I. Rice-plant-associated N₂-fixation as affected by genotype, in organic N fertilizer and organic manure. *Transaction of XIII Congr. Int. Soc. Soil Sci.* Hamburg, 1986. Vol. 2. P. 598–599.

8. Волкогон В. Биологическая трансформация азота. Palmarium Academic publishing, 2013. 116 с.

9. Визначення фізіологічно (екологічно) доцільних доз мінерального азоту в технологіях вирощування сільськогосподарських культур : науково-методичні рекомендації. К. : ІСГМ УААН, 2010. 33 с.

10. Hutchinson G. L., Livingston G. P., Healy R. W., Striegl R. C. Chamber measurement of surface-atmosphere trace gas exchange: numerical evaluation of dependence on soil, interfacial layer, and source sink properties. *Journal of Geophysical Research*. 2000. 105 (D7). P. 8865–8875. <https://doi.org/10.1029/1999JD901204>

11. Kusa K., Sawamoto T, Hu R. Hatano R. Comparison of the closed-chamber and gas concentration gradient methods for measurement of CO₂ and N₂O fluxes in two upland field soils. *Soil Science and Plant Nutrition*. 2008. 54 (5). P. 777–785. <https://doi.org/10.1111/j.1747-0765.2008.00292.x>

12. Звягинцев Д. Г. Методы почвенной микробиологии и биохимии. Москва: МГУ, 1991. 304 с.

13. Волкогон В. В. Експериментальна ґрунтова мікробіологія: монографія. К. : Аграрна наука, 2010. 464 с.

14. Hardy R. W. F., Holsten R. D., Jackson E. K., Burriss R. S. The acetylene-ethylene assay for N₂-fixation: laboratory and field evolution. *Plant Physiol.* 1968. № 43. P. 1185–1207. <https://doi.org/10.1104/pp.43.8.1185>

15. Lin W., Okon Y., Yardy R. W. R. F. En-

hauced mineral uptake by *Zea mays* and *Sorghum bicolor* roots inoculated with *Azospirillum brasilense*. *Appl. Environ. Microbiol.* 1983. 45, № 6. P. 1775–1779.

16. Волкогон В. В., Дімова С. Б., Волкогон К. І., Борулько Р. О., Бердніков О. М. Вплив мікробних препаратів на засвоєння культурними рослинами поживних речовин. *Вісник аграрної науки.* 2010. № 5. С. 25–28.

Отримано 21.08.2019

<https://doi.org/10.35868/1997-3004.30.3-12>

UDC 579.64:631.86/87:631.427

OPTIMIZATION OF NITROGEN MINERAL FERTILIZATION OF AGRICULTURAL CULTURES BY THE PARAMETERS OF THE INTENSITY OF THE NITROGEN FIXATION AND DENITRIFICATION PROCESSES

V. V. Volkohon, S. B. Dimova, K. I. Volkohon, V. P. Gorban,
N. P. Shtanko, N. V. Lutsenko, V. P. Sydorenko

Institute of Agricultural Microbiology and Agroindustrial Manufacture, NAAS, Chernihiv
e-mail: volkohon@ukr.net

Objective. Investigate the performance of the nitrogen fixation and process of N-N₂O loss under the cultivation of potatoes and peas on the leached chernozem under various mineral agrarian backgrounds and the use of microbial preparations and to determine the ecological compromise normal rate of mineral nitrogen, under which the emission losses of nitrogen compounds will not exceed the intake of “biological” nitrogen in agrocenoses. **Methods.** Field experiment, gas chromatographic. **Results.** Studies of the activity of nitrogen fixation and N₂O emission in situ in potato and pea agrocenoses using different rates of mineral fertilizers and microbial preparations, with subsequent calculations of the parameters of intake of the “biological” nitrogen and emission losses of the element indicate the possibility of determining the conditions (doses of mineral nitrogen) for which equality between profit and non-productive expenditure of the nitrogen balance is achieved. This amount of mineral nitrogen can be considered environmentally permissible, its excess is undesirable due to a decrease in the intake of “biological” nitrogen and increased activity of the denitrification process. For potatoes grown on leached chernozem, environmentally permissible nitrogen fertilizer rate should be considered as 80 kg/ha, for peas — 60 kg/ha. The use of microbial preparations in the cultivation of crops promotes an increase in the range of environmentally permissible normal rates of mineral nitrogen due to the formation of conditions under which the bacterization of plants require more nitrogen compounds to ensure a constructive metabolism, which additionally to increased nitrogen fixation activity is accompanied by an increase in the level of consumption of mineral nitrogen in the soil. At the same time, the activity of biological denitrification becomes reduced. Based on the obtained parameters, a model of optimization of nitrogen mineral fertilization of agricultural cultures was developed. **Conclusion.** It is advisable to determine the ecologically permissible normal rates of mineral nitrogen fertilization of crops by the performance indices of the nitrogen fixation process and N-N₂O losses. In this case, the emission losses of nitrogen compounds should not exceed the levels of intake of biologically bound nitrogen in agrocenoses.

Key words: environmentally permissible levels of mineral fertilizers, nitrogen fixation, N₂O emission, mineral fertilizers, potatoes, peas, microbial preparations.

REFERENCES

1. *Naukovo-metodychni rekomendatsiyi z optymizatsiyi mineralnoho zhyvlennya silskohospodarskykh kultur ta stratehiyi udobrennya* [Scientific and methodological recommendations for optimization of mineral nutrition of crops and fertilizer strategy]. 2004. Kyiv [in Ukrainian].
2. Sozinov, O. O., Kozlov, M. V., Lapa, M. A., Tarariko, Yu. O., Palapa, N. V., & Tsvei, Ya. P. (1996). Ahroekolohichni osnovy ratsionalnoho vykorystannya dobryv [Agroecological basis for the rational use of fertilizers]. *Ahroekolohiya i biotekhnolohiya — Agroecology and biotechnology*, Kyiv: Ahrarna nauka [in Ukrainian].
3. Melnichuk, D., Hoffman, J., & Horodny, M. (Eds.). (2004). *Yakist gruntiv ta suchasni stratehiyi udobrennya* [Soils quality and today fertilization strategies]. Kyiv: Aristej [in Ukrainian].
4. Bashkin, V. I. (1987). *Agrogeokhimiya azota* [Nitrogen agrogeochemistry] Pushchino: Izd. AN SSSR [in Russian].
5. Korenkov, D. A. (1990). Voprosy agrokhimii azota i ekologiya [Questions nitrogen agrochemistry and ecology]. *Agrokhimiya — Agrochemistry*, 11, 28–37 [in Russian].
6. Umarov, M., Shabaev, V., Smolin, V., & Aseeva, O. (1985). Incorporation of «biological» nitrogen by nonleguminous plants during associative N₂-Fixation. *IX Int. Symp. Soil Biol. and conservation of the Biosphere*. Pap. Sorpon.
7. Ladha, J. K., Tiror, A. C., Caldo, G., & Watanabe, I. (1986). Rice-plant-associated N₂-fixation as affected by genotype, in organic N fertilizer and organic manure. *Transaction of XIII Congr. Int. Soc. Soil Sci.* Hamburg.
8. Volkogon, V. (2013). *Biologicheskaya transformatsiya azota* [Biological nitrogen transformation]. Palmarium Academic publishing [in Russian].
9. *Vyznachennja fiziologichno (ekologichno) docilnyh doz mineralnogo azotu v tehnologijah vyroshhuvannja silskohospodarskykh kultur: naukovo-metodychni rekomendacii* (2010). [Determination of physiologically (ecologically) expedient doses of mineral nitrogen in technologies of cultivation of crops: scientific and methodical recommendations]. Kyiv: ISGM UAAN [in Ukrainian].
10. Hutchinson, G. L., Livingston, G. P., Healy, R. W., & Striegl, R. G. (2000). Chamber measurement of surface atmosphere trace gas interfacial layer, and source/sink properties. *J. Geophysical Research.*, 105(D7), 8865–8875. <https://doi.org/10.1029/1999JD901204>.
11. Kusa K., Sawamoto T., Hu R., & Hatano R. (2008). Comparison of the closed-chamber and gas concentration gradient methods for measurement of CO₂ and N₂O fluxes in two upland field soils. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 54(5), 777–785. <https://doi.org/10.1111/j.1747-0765.2008.00292.x>
12. Zviagintsev, D. G. (1991). *Metody pochvennoy mikrobiologii i biokhimii* [Methods of soil microbiology and biochemistry]. Moskva: MGU [in Russian].
13. Volkogon, V. V. (2010). *Eksperymentalna gruntova mikrobiolohiya* [Experimental soil microbiology]. Kyiv: Ahrarna nauka [in Ukrainian].
14. Hardy, R. W. F., Holsten, R. D., Jackson, E. K., & Burris, R. S. (1968). The acetylene-ethylene assay for N₂-fixation: laboratory and field evolution. *Plant Physiol.*, 43, 1185–1207. <https://doi.org/10.1104/pp.43.8.1185>
15. Lin, W., Okon, Y., & Yardy, R. W. R. F. (1983). Enhanced mineral uptake by *Zea mays* and *Sorghum bicolor* roots inoculated with *Azospirillum brasilense*. *Appl. Environ. Microbiol.*, 45 (6), 1775–1779.
16. Volkogon, V. V., Dimova, S. B., Volkogon, K. I., Borulko, R. O., & Berdnikov, O. M. (2010). Vplyv mikrobynykh preparativ na zasvoyennya kulturnymy roslynamy pozhyvnykh rehovyn [Influence of microbial preparations on the absorption of nutrients by cultivated plants]. *Visnyk ahrarnoyi nauky — Bulletin of agrarian science*, 5, 25–28 [in Ukrainian].

Received 21.08.2019