

ІДЕНТИФІКАЦІЯ ПОТОКІВ АЗОТУ У СІЛЬСЬКОМУ ГОСПОДАРСТВІ

М.М. Марткоплішвілі

Інститут агроекології і природокористування НААН

Визначено потоки реакційно здатних сполук азоту, що утворюються в процесі виробництва сільськогосподарської продукції. Розглянуто потоки азоту між пулом «сільське господарство» та іншими джерелами викидів (басейнами). Проаналізовано викиди азоту з таких басейнів: сільське господарство; енергетика і паливо; матеріали і продукти промисловості; люди і населені пункти; відходи; атмосфера і гідросфера. Встановлено основні джерела викидів хімічно активного азоту з басейну «сільське господарство». Встановлено вплив азоту на навколишнє природне середовище та здоров'я людини. Розроблено алгоритм визначення балансів азоту для сільського господарства. Алгоритм враховує як реакційно здатний азот, що утворився в басейні, так і отриманий унаслідок обміну з іншими басейнами. Проаналізовано застосування показника ефективності використання поживних речовин, що є узагальненням під час порівняльної оцінки басейнів азоту і потоків азоту. Встановлено доцільність використання показника ефективності використання азоту (EVA). Визначено, що рівень EVA в тваринництві залежить від комплексу показників: спеціалізації сільськогосподарського підприємства, видів сільськогосподарських культур і категорій тварин. Баланс азоту для певного господарства і EVA є показниками для розрахунку навантаження азоту на навколишнє природне середовище і ефективності використання азотних ресурсів відповідно. Динаміка зміни EVA в комплексі з іншими агроекологічними показниками може використовуватися для оцінки результативності впровадження на підприємстві заходів із вдосконалення технології для зниження екологічного навантаження.

Ключові слова: баланс азоту, ефективність використання азоту (EVA), потоки азоту.

Азот утворює хімічні сполуки майже з усіма елементами періодичної системи. У довікллі він існує у великій кількості форм. Азот є важливим компонентом білків, нуклеїнових кислот, вітамінів та гормонів, без яких неможливе існування живих організмів. Хімічно активний азот постійно формується під час функціонування азотного циклу природних екосистем. До кінця XIX ст. процес перетворення атмосферного азоту N_2 у активні форми відбувався у межах природної рівноваги. Відкриття синтезу аміаку сприяло промислому виробництву мінеральних добрив, що своєю чергою надало змогу забезпечити продуктами харчування значну кількість людей і сприяло збільшенню населення Землі. Це спричинило зміну циклу азоту під впливом діяльності людини [1]. Більш ніж удвічі збільшилась кількість активного азоту у біологічному циклі, що зумовило негативні зміни у атмосферному повітрі, функціо-

нуванні екосистем та здоров'я населення [2–5].

Сільське господарство є одним із основних споживачів активного азоту та могутнім джерелом його викидів. Викиди азоту у секторі сільського господарства відбуваються у різних формах та різними шляхами внаслідок вилуговування і вимивання нітратів та органічного азоту у водні об'єкти, а також як газоподібні викиди. В аспекті з'ясування внеску сільського господарства щодо забруднення повітря найбільше занепокоєння викликають геміоксид азоту (N_2O) та аміак (NH_3) [6]. Викиди N_2O у сільському господарстві відбуваються внаслідок застосування органічних та мінеральних добрив, функціонування галузі тваринництва, утилізації сільськогосподарських відходів та через горіння, особливо за випалювання великих площ саван та стерні. Внесок аміаку в загальне надходження азоту нині оцінюється в 40%. Викиди в атмосферу аміаку та

оксидів азоту з підприємств енергетичної галузі, транспорту, сільського господарства та промисловості спричиняють: деградацію поверхні суші; зміну якості води та наносять шкоду водним організмам унаслідок забруднення океану та активізації росту токсичних водоростей. Аміак та оксиди азоту в атмосфері зумовлюють утворення смогу, викликають хвороби органів дихання у людей і випадають на поверхню землі, тим самим підкислюють ґрунт, воду та знову повертаються в атмосферу у нових формах. Крім того, активний азот у атмосфері є одним із чинників глобального потепління.

На ІІ сесії (Женева, 2012) виконавчий орган Конвенції про транскордонне забруднення повітря на великі відстані прийняв керівний документ щодо національних балансів азоту [7]. Згідно з цим документом, баланс азоту (БА) — це кількісний опис його основних потоків через усі сектори і природні середовища у чітко визначених межах і встановлених термінах (як правило, 1 рік), а також змін запасів азоту у відповідних секторах та довікллі. Так, БА може бути складений на різних рівнях, від глобального до локального. Азотні басейни є елементами його балансу. Вони служать для зберігання певних обсягів азоту (ці обсяги називають запасами азоту). Азотний обмін між різними басейнами відбувається через потоки азоту. Азотні басейни можуть бути екологічними середовищами (атмосфера, вода), економічними секторами (промисловість, сільське господарство) або іншими соціальними елементами (люди і населені пункти). Набір басейнів може відрізнятися залежно від конкретних балансів азоту. Стосовно БА на національних рівнях, то до них входять всі відповідні басейни.

Баланс азоту сільськогосподарського підприємства включено до переліку 37 агроекологічних індикаторів для звітності про екологічну ситуацію в сільському господарстві у країнах Європейського Союзу. Розрахунки азотного балансу на рівні країни, регіону або окремого підприємства використовують як інструмент для оцінки

ефективності внесених поживних речовин і, відповідно, екологічного навантаження на навколишнє природне середовище [8].

Басейн «сільське господарство» об'єднує такі суббасейни: тварини; гній (прибирання, зберігання і використання гною); сільськогосподарські культури та ґрунти сільськогосподарського призначення [7]. Вказаний басейн своїми потоками переплітається з іншими басейнами. Всього виділено вісім басейнів азоту, кожен з яких своєю чергою поділяється на суббасейни, зокрема [7]:

Енергетика і паливо — об'єднує суббасейни: перетворення енергії (у т.ч. спалювання газу у факелі і викиди від спалювання палива поза системою газоочищення, обробні галузі промисловості і будівництво, транспорт, інші види енергетичної сировини і палива (зокрема, спалювання палива в побутовому секторі);

Матеріали і продукти (тобто процеси промисловості);

Люди і населені пункти;

Ліси та напівприродні екосистеми, у т.ч. *ґрунти*;

Відходи, куди входять суббасейни: видалення твердих відходів, обробка стічних вод, спалювання відходів, інші відходи;

Атмосфера;

Гідросфера: внутрішні води (у т.ч. підземні води), прибережні і морські води.

Найважливішими підсистемами басейну «сільське господарство» є *тваринництво* і *рослинництво*, а також *утилізація гною* [9].

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Для кількісного оцінювання потоків азоту використовували метод системного аналізу — встановлення структурних зв'язків між емісією хімічно активного азоту та виробництвом сільськогосподарської продукції; математичний метод — розрахунок емісії хімічно активного азоту у виробництві тваринницької продукції та азотного бюджету підприємства; статистичний метод — обробка результатів досліджень. Розрахунки проводили згідно з методичними керівництвами, розробленими Міжуря-

довою групою експертів зі зміни клімату (МГЕЗК), та Інструкцією Європейської економічної комісії ООН з інвентаризації викидів [10–11].

Розрахунок питомих викидів аміаку здійснювали за формулою:

$$Y_i = m_i \cdot y \cdot t \cdot n, \quad (1)$$

де m_i – середня жива маса тварин, ц; y – питомий показник викидів аміаку від однієї тварини (табл. 1), мг/рік; t – період часу, 1 рік; n – кількість тварин.

Розрахунок викидів аміаку залежно від систем утилізації гною здійснювали за формулою:

$$Y_g = n \cdot m, \quad (2)$$

де n – кількість тварин; m – питомий показник викидів аміаку залежно від систем утилізації гною.

У продукції сільського господарства азот міститься у складі білків. Уміст білка у продукції тваринництва визначали згідно з ДСТУ 2212:2003 «Молочна промисловість». У молоці розрізняють три білкові фракції: казеїн, лактоальбумін, лактоглобулін. Для визначення вмісту азоту у молоці, яйцях та м'ясі використовували відповідні коефіцієнти [12]. Визначення вмісту азоту у продукції тваринництва розраховували за формулою:

$$N_{np} = N_n / 100 \cdot n_g / k, \quad (3)$$

де N_n – кількість виробленої продукції; n_g – уміст білка у продукті; k – коефіцієнт перерахунку вмісту азоту у білку.

Загальний річний баланс азоту у господарстві розраховували за формулою:

$$\begin{aligned} N_{\text{баланс}} &= \sum N_{\text{від}} - \sum N_{\text{вихід}} = \\ &= (N_{\text{корм}} + N_{\text{добр}}) - \\ &- (N_{\text{молоко}} + N_{\text{м'ясо}} + N_{\text{росл. прод}}), \quad (4) \end{aligned}$$

де $N_{\text{корм}}$ – азот, що надходить на підприємство з кормами; $N_{\text{добр}}$ – азот, що надходить на підприємство з добривами; $N_{\text{молоко}}$ – азот, що міститься у виробленому молоці; $N_{\text{м'ясо}}$ – азот, що міститься у м'ясі, виробленому для продажу; $N_{\text{росл. прод}}$ – азот, що міститься в рослинній продукції, вирощеній для продажу (пшениця, ячмінь).

Ефективність управління потоками азоту можна оцінити через призму підвищення ефективності його використання. Інди-

катори ефективності використання азоту (ЕВА) дають можливість оцінити його вміст у сільськогосподарській культурі або тваринних продуктах за кількістю внесеного азоту або азоту, що надійшов [13–15]. Ефективність використання азоту у господарстві розраховували за формулою:

$$\begin{aligned} N_{\text{еф}} &= \sum N_{\text{від}} / \sum N_{\text{вихід}} = \\ &= \frac{(N_{\text{молоко}} + N_{\text{м'ясо}} + N_{\text{росл. прод}})}{(N_{\text{корм}} + N_{\text{добр}})}. \quad (5) \end{aligned}$$

Надлишок азоту є показником азотно-го навантаження сільськогосподарського підприємства на навколишнє природне середовище, яке залежить як від емісії хімічно активного азоту, так і від кругообігу елемента, упродовж якого надлишок азоту втрачається через випаровування аміаку, вимивання азоту та/або нітрифікацію чи денітрифікацію. Від управління потоками азоту залежить ефективність його використання (ЕВА) [16].

Так, ЕВА певним господарством визначають як відношення вихідних потоків азоту, тобто маси загального виходу азоту (через продукцію, що вивозять з господарства, та втрат від емісії), до вхідних потоків – загального надходження азоту з добривами, насінням, раціонами тварин, біологічної фіксації N_2 , атмосферних процесів. Іншими словами, ЕВА є показником ефективності використання N , а азотний баланс – різниця між загальними вхідними і вихідними потоками N , показником надлишку або дефіциту азоту на рівні господарства [17]. Для визначення балансу азоту необхідно враховувати усі його потоки, а саме: азот, що надходить на підприємство з кормами; з добривами; від гною та посліду, що міститься у виробленій тваринницькій продукції; у рослинній продукції, що вирощена для продажу [18].

Поліпшення управління потоками азоту (відповідно, зниження втрат азоту) є наслідком зниження з часом надлишку або нестачі азоту і оптимізації ЕВА. Отже, прогрес в управлінні потоками азоту можна оцінити шляхом моніторингу річного балансу азоту і ЕВА на рівні господарства. Щоб урахувати річні зміни погодних умов

і непередбачені явища, рекомендовано розраховувати п'ятирічні середні значення надлишку азоту та ЕВА [17].

Баланс азоту для певного господарства та ЕВА є показниками для розрахунку навантаження азоту на довкілля та ефективності використання азотних ресурсів відповідно. Деякі країни (Данія, Німеччина та Нідерланди) постійно використовують баланси і надлишок азоту як комплексні нормативно-правові інструменти для зниження втрат цього елемента через емісію у навколишнє природне середовище [18]. Підвищення ЕВА у тваринницьких господарствах і господарствах змішаної спеціалізації, як правило, асоціюється зі зниженням втрат NH_3 на одиницю продукції [19].

ВИСНОВКИ

Розроблено алгоритм визначення балансів азоту для сільського господарства, який враховує активний азот, що утворюється в басейні «сільське господарство», а також азот, що надійшов унаслідок його обміну з іншими басейнами. Проаналізовано застосування показника ефективності використання поживних речовин як узагальнюючого під час порівняльної оцінки басейнів азоту. Динаміка зміни ЕВА у комплексі з іншими агроекологічними показниками може використовуватися для оцінки результативності впровадження у сільському господарстві заходів із вдосконалення технології для зниження екологічного навантаження.

ЛІТЕРАТУРА

1. Nitrogen Cycles: Past, Present, and Future [Електронний ресурс] / J.N. Galloway, F.J. Dentener, D.G. Capone et al. // *Biogeochemistry*. — 2004. — Vol. 70. — P. 226. — Режим доступу: <https://doi.org/10.1007/s10533-004-0370-0>
2. Vitousek P.M. Human alteration of the global nitrogen cycle: causes and consequences [Електронний ресурс] / P.M. Vitousek // *Issues Ecol.* — 1997. — Vol. 7. — P. 1–15. — Режим доступу: <https://esajournals.onlinelibrary.wiley.com>
3. Nitrogen and Phosphorus. The Earth as Transformed by Human Action: Global and Regional Changes in the Biosphere over the Past 300 Years [Електронний ресурс] / B.L. Turner, W.C. Clark, R.W. Kates et al. // UK: Cambridge. — 1990. — Режим доступу: <https://www.bookdepository.com>
4. Todd R.W. Ammonia emissions from open lot beef cattle feedyards on the southern high plains [Електронний ресурс] / R.W. Todd, N.A. Cole, R.N. Clark // *Atmospheric Environment*. — 2008. — Vol. 42, No. 28. — P. 19. — Режим доступу: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.490.4096&rep=rep1&type=pdf>
5. *Какарека С.В.* Амміак в атмосферному повітрі: джерела, умови формування, рівні концентрації, регулювання / С.В. Какарека, А.В. Мальчихина. — Мінск: Беларуская навука, 2016. — 254 с.
6. *Моклячук Л.І.* Методичні рекомендації зі скорочення викидів аміаку з сільськогосподарських джерел / Л.І. Моклячук, О.М. Жукорський, В.П. Бородай. — К., 2016. — 31 с.
7. Guidance document on national nitrogen budgets [Електронний ресурс] / Task Force on Reactive Nitrogen. — 2012. — Режим доступу: <https://www.unece.org>
8. *Яцук І.П.* Екологічні індикатори зеленого зростання сільського господарства / І. П. Яцук, Л. І. Моклячук. — К., 2018. — 384 с.
9. Руководство ЕМЕП/ЕАОС по инвентаризации выбросов загрязняющих веществ [Електронний ресурс] / European Environment Agency. — 2016. — Режим доступу: <https://www.eea.europa.eu/ru/publications/rukovodstvo-emep-eaos-po-inventarizacii-vybrosov-2016>
10. Руководящие принципы национальных инвентаризаций парниковых газов МГЭИК: в 5 т. — Т. 4 / под ред. Х.С. Игглестона, Л. К. Буэндиа, К. Мивши и др. — ИГЕС, Япония, 2006. — 8 с.
11. *Aneja V.P.* Characterization of atmospheric ammonia emissions from swine waste storage and treatment lagoons [Електронний ресурс] / V.P. Aneja, J.P. Chauhan, J. Walker // *Raleigh*. — 2000. — Режим доступу: <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1029/2000JD900066>
12. Молочна промисловість. Виробництво молока та кисломолочних продуктів: ДСТУ 2212:2003. — [Чинний від 26.12.2003]. — К.: Технологічний інститут молока та м'яса УААН, 2003. — 22 с. — (Національний стандарт України).
13. Assessment of sources and solutions to reduce nitrogen air pollution. Helsinki Commission [Електронний ресурс] / Baltic Marine Environment Protection Commission. 26th Meeting. — Helsinki, Finland, 2005. — Режим доступу: <https://www.unece.org>
14. Guidance document for preventing and abating ammonia emissions from agricultural sources [Електронний ресурс] / Economic and Social Council Distr. — 2014. — Режим доступу: https://www.unece.org/fileadmin/DAM/env/documents/2012/EB/ECE_EB.AIR_120_ENG.pdf
15. *Rotz C.* Management to reduce nitrogen losses in animal production [Електронний ресурс] / C. Rotz // *Journal of Animal Science*. — 2004. — No. 82. — P. 119–137. — Режим доступу: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15471791>
16. *Sommer S.G.* Ammonia emission from field applied manure and its reduction-invited paper [Електронний ресурс] / S.G. Sommer, N.J. Hutchings // *European Journal of Agronomy*. — 2001. — No. 15. — P. 4–15. — Режим доступу: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.457.7652&rep=rep1&type=pdf>

17. Framework Code for Good Agricultural Practice for Reducing Ammonia Emissions [Електронний ресурс] / United Nations Economics Commission for Europe. — 2015. — Режим доступу: <http://www.unece.org/environmental-policy/conventions/envlrta/welcome/publications.html>
18. Mosier A.R. Agriculture and the Nitrogen Cycle. Assessing the Impacts of Fertilizer Use on Food Production and the Environment [Електронний ресурс] / A.R. Mosier, J.K. Syers, J.R. Freney // Island Press. — 2004. — Режим доступу: <https://www.researchgate.net>
19. Impacts of intensive livestock production and manure management on the environment. In Livestock in a changing landscape: Drivers, Consequences and Responses [Електронний ресурс] / H. Menzi, O. Oenema, C. Burtun et al. // Washington DC: Island Press. — 2010. — Режим доступу: <https://books.google.com.ua>

REFERENCES

1. Galloway, J.N., Dentener, F.J., Capone, D.G. et al. (2004). Nitrogen Cycles: Past, Present, and Future. *Biogeochemistry*, 70, 226. Retrieved from <https://doi.org/10.1007/s10533-004-0370-0> [in English].
2. Vitousek, P.M. (1997). Human alteration of the global nitrogen cycle: causes and consequences. *Issues Ecol*, 7, 1–15. Retrieved from <https://esajournals.onlinelibrary.wiley.com> [in English].
3. Turner, B.L., Clark, W.C., Kates, R.W. et al. (1990). Nitrogen and Phosphorus. The Earth as Transformed by Human Action: Global and Regional Changes in the Biosphere over the Past 300 Years. UK: Cambridge, 732. www.bookdepository.com. Retrieved from <https://www.bookdepository.com> [in English].
4. Todd, R.W., Cole N.A., Clark, R.N. (2008). Ammonia emissions from open lot beef cattle feedyards on the southern high plains. *Atmospheric Environment*, 42, 28, 19. Retrieved from <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.490.4096&rep=rep1&type=pdf> [in English].
5. Kakareka, S.V., & Malchihina, A.V. (2016). *Ammiak v atmosfernom vozduhu: istochniki postuplenija, urovni soderganija, regulirovanie* [Ammonia in ambient air: sources, levels, regulation]. Minsk: Belarusskaja navuka [in Russian].
6. Moklyachuk, L.I., Zhukorskyi V.P. (2016). *Metodychni rekomendatsii zi skorochennia vykydiv amia-ku z silskohospodarskykh dzherel* [Methodical recommendations for reduction of ammonia emissions from agricultural sources]. Kyiv [in Ukrainian].
7. Guidance document on national nitrogen budgets (2012). *Task Force on Reactive Nitrogen*, 12. Retrieved from <https://www.unece.org> [in English].
8. Iatsuk, I.P., Mokliachuk, L.I. (2018). *Ekolohichni indykatory zelenoho zrostantnia silskoho gospodarstva* [Environmental indicators of green growth in agriculture]. Kyiv [in Ukrainian].
9. Rukovodstvo EMEP/EAOS po inventaryzatsyy vybrosov zagriazniaiushchyykh veshchestv [EMEP / EEA Manual on Pollutant Emission Inventories]. (2016). European Environment Agency. www.eea.europa.eu. Retrieved from <https://www.eea.europa.eu/ru/publications/rukovodstvo-emeep-eaos-po-inventaryzatsiyvybrosov-2016> [in Russian].
10. Igglestona, Kh.S., Buendya, L.K., Myva, K., Nhara, T. & Tanabe, L. (2006). *Rukovodiashchye printsipy natsionalnykh inventaryzatsyy parnykovykh hazov MGEIK [IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories]*. (Vols 1–5; Vol. 5). IGES, Japonija [in Russian].
11. Aneja, V.P., Chauhan, J.P., Walke, J. (2000). Characterization of atmospheric ammonia emissions from swine waste storage and treatment lagoons. agupubs.onlinelibrary.wiley.com. Retrieved from <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1029/2000JD900066> [in English].
12. Molochna promyslovist. Vyrobnnytstvo moloka ta kyslomolochnykh produktiv [Dairy industry. Production of milk and dairy products]. (2003). *DSTU 2212:2003 from 26th Decemder 2003*. Kyiv: Tekhnolohichniyi instytut moloka ta m'iasa UAAAN [in Ukrainian].
13. Assessment of sources and solutions to reduce nitrogen air pollution / Helsinki Commission (2005). Baltic Marine Environment Protection Commission 26th. www.unece.org. Retrieved from <https://www.unece.org> [in English].
14. Guidance document for preventing and abating ammonia emissions from agricultural sources (2014). Economic and Social Council Distr. www.unece.org/fileadmin. Retrieved from https://www.unece.org/fileadmin/DAM/env/documents/2012/EB/ECE_EB.AIR_120_ENG.pdf [in English].
15. Rotz, C.A. (2004). Management to reduce nitrogen losses in animal production. *Journal of Animal Science*, 82, 119–137. Retrieved from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15471791> [in English].
16. Sommer, S.G., Hutchings, N.J. (2001). Ammonia emission from field applied manure and its reduction – invited paper. *European Journal of Agronomy*, 15, 4–15. Retrieved from <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.457.7652&rep=rep1&type=pdf> [in English].
17. Framework Code for Good Agricultural Practice for Reducing Ammonia Emissions (2015). *environmental-policy*. Retrieved from <http://www.unece.org/environmental-policy/conventions/envlrta/welcome/publications.html> [in English].
18. Mosier, A.R., Syers, J.K., Freney, J.R. (2004). Agriculture and the Nitrogen Cycle. Assessing the Impacts of Fertilizer Use on Food Production and the Environment. www.researchgate.net. Retrieved from <https://www.researchgate.net> [in English].
19. Menzi, H., Oenema, O., Burtun, C. (2010). Impacts of intensive livestock production and manure management on the environment. In Livestock in a changing landscape: Drivers, Consequences and Responses. www.researchgate.net. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/254837595_Impacts_of_intensive_livestock_production_and_manure_management_on_the_environment_Chapter_9 [in English].

Отримано 13.11.2018