



УДК 63:631.236-032.31

DOI 10.35433/naturaljournal.1.2023.174-186

## ВИКИДИ ПАРНИКОВИХ ГАЗІВ ВІД СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ДІЯЛЬНОСТІ ТА ЇХ ДИНАМІКА ПРОТЯГОМ 1990-2020 РОКІВ

О. А. Тимошук<sup>1</sup>, О. Б. Тимошук<sup>2</sup>, Б. В. Матвійчук<sup>3</sup>

Україна, як сторона Рамкової конвенції ООН про зміну клімату, співпрацює з міжнародними організаціями у сфері охорони довкілля, у тому числі забезпечує виконання зобов'язань у сфері зміни клімату, а саме досягти рівня викидів парникових газів у 2030 р. у кількості, що б не перевищувала 60% від рівня 1990 р. Галузь сільського господарства має значний внесок у загальні викиди парникових газів в Україні, який протягом 1990-2020 рр. коливався в межах 9-14%. У сільському господарстві розглядаються викиди трьох парникових газів (метан, нітроген (I) оксид і карбон (IV) оксид), до викидів яких призводить діяльність у двох галузях – тваринництві та рослинництві.

Тваринництво характеризується такими процесами, як кишкова ферментація та поводження з послідом і гноєм сільськогосподарських тварин, що супроводжуються емісією переважно метану. Ключовими факторами, які визначають динаміку емісії парникових газів у тваринництві є поголів'я сільськогосподарських тварин і система поводження з гноєм, за допомогою якої відбувається збирання, транспортування, зберігання і використання гною.

Найбільший внесок за обсягами емісії парникових газів здійснює категорія кишкової ферментації (переважно кишкова ферментація великої рогатої худоби), частка якої протягом 1990-2020 років коливалась переважно в межах 80-85%, а станом на 2020 рік знизилась до 79,3%.

Обсяги викидів у рослинництві визначаються спеціальними для кожного процесу факторами, а саме: кількістю внесених до орних ґрунтів добрив (азотних та органічних), кількістю внесених вапнувальних матеріалів, кількістю N у рослинних рештках, площею органічних ґрунтів, відведених під польові культури, тощо. Основним парниковим газом у цій галузі є

<sup>1</sup> кандидат сільськогосподарських наук,  
заступник начальника управління інвентаризації парникових газів,  
начальник відділу інвентаризації парникових газів в сферах сільського та лісового господарств і поводження з відходами  
(Бюджетна установа «Національний центр обліку викидів парникових газів», м. Київ)  
e-mail: timpost@ukr.net  
ORCID: 0000-0003-1634-1515

<sup>2</sup> кандидат хімічних наук, доцент,  
доцентка закладу вищої освіти  
кафедри аналітичної, фізичної та колоїдної хімії  
(Національний медичний університет ім. О.О. Богомольця, м. Київ)  
e-mail: tymoshchukolga@ukr.net

<sup>3</sup> кандидат сільськогосподарських наук,  
доцент кафедри ботаніки, біоресурсів та збереження біорізноманіття  
(Житомирський державний університет імені Івана Франка)  
e-mail: bogdanmatviychuk@ukr.net  
ORCID: 0000-0002-7872-2420

нітроген (I) оксид, динаміка емісії якого в цілому характеризується двома напрямки – це суттєве та стрімке скорочення на понад 60% до 2003 року і подальше поступове зростання. Розвиток різних сфер рослинництва відбувається у різних напрямках та з різною інтенсивністю, а тому мають різний внесок у сукупні обсяги емісії N<sub>2</sub>O. Найбільша частка викидів, як у 1990, так і у 2020 році, припадає на внесення N з мінеральними добривами та внесення N із залишками польових культур.

**Ключові слова:** сільське господарство, викиди, джерела викидів, парникові гази, метан, нітроген (I) оксид, карбон (IV) оксид.

## GREENHOUSE GAS EMISSIONS FROM AGRICULTURAL ACTIVITIES AND THEIR DYNAMICS DURING 1990-2020

O. A. Tymoshchuk, O. B. Tymoshchuk, B. V. Matviychuk

Ukraine, as a Party of the UN FCCC, cooperates with international organizations in the field of environmental protection, including ensuring the fulfillment of obligations in the field of climate change, namely to reach the level of greenhouse gas emissions in 2030 in the amount of exceeded 60% of the level of 1990. The agricultural sector has a significant contribution to the total emissions of greenhouse gases in Ukraine, which during 1990-2020 fluctuated between 9-14%. In agriculture, the emissions of three greenhouse gases (methane, nitrous oxide and carbon dioxide) are considered, the emissions of which lead to activity in two branches – livestock and plant growing.

Livestock is characterized by such processes as enteric fermentation and manure management, which are accompanied by the emission of mainly methane. The key factors that determine the dynamics of greenhouse gas emissions in livestock are the number of agricultural animals and the type of manure management system, which is used to collect, transport, store and use manure. The largest contribution in terms of greenhouse gas emissions is made by the category of enteric fermentation (mainly enteric fermentation of cattle), the share of which during the 1990-2020 fluctuated mainly in the range of 80-85%, and as of 2020 it decreased to 79.3%.

The amount of emissions in plant growing is determined by factors specific to each process, namely: the amount of fertilizers (nitrogen and organic) applied to agricultural soils, the amount of applied liming materials, the amount of N in crop residues, the area of organic soils for crop planting etc. The main greenhouse gas in this area is nitrous oxide, the dynamics of whose emission is generally characterized by two directions – a significant and rapid reduction by more than 60% by 2003 and subsequent gradual growth. The development of different areas of plant growing takes place in different directions and with different intensity, and therefore have different contributions to the total volume of N<sub>2</sub>O emissions. The largest share of emissions, both in 1990 and in 2020, comes from N application with mineral fertilizers and N application with crop residues.

**Key words:** agriculture, emissions, sources of emissions, greenhouse gases, methane, nitrous oxide, carbon dioxide.

### Вступ

На початку XXI століття світова спільнота визнала, що зміна клімату є надзвичайно важливою проблемою світового розвитку з майже незворотними загрозами для глобальної економіки та міжнародної безпеки внаслідок підвищення прямих і непрямих ризиків, пов'язаних з енергетичною безпекою, забезпеченням продовольством і питною водою, стабільним існуванням екосистем, ризиків для здоров'я і життя людей.

Низька здатність країн адаптуватися до таких проявів зміни клімату, як повені, посухи, зміна течій

світового океану, тривалі періоди з аномальною спекою тощо, може призвести до соціальної та економічної нестабільності. За останні два десятиріччя питання щодо зміни клімату перетворилося в одну з найбільш гострих проблем світової економіки і політики у контексті вироблення і запровадження стратегій скорочення викидів парникових газів і поступового переходу до низьковуглецевого розвитку всіх секторів економіки і складових життєдіяльності людини.

На глобальному рівні вирішення питань, пов'язаних із зміною клімату, на цей час регулюється Рамковою

конвенцією ООН про зміну клімату, Кіотським протоколом та Паризькою угодою.

Взаємозв'язок проблем захисту довкілля та безпеки є безумовною складовою сталого розвитку України та її міжнародної позиції. Для вирішення актуальних питань сьогодення, а також інтеграції країни до світового співтовариства для розв'язання глобальних екологічних проблем проводиться співпраця з міжнародними організаціями у сфері охорони довкілля. Діяльність у рамках багатосторонніх угод з міжнародними організаціями дає змогу брати активну участь у переговорному процесі, залучати фінансову допомогу для вирішення нагальних внутрішніх екологічних проблем.

Як сторона Рамкової конвенції ООН про зміну клімату та Кіотського протоколу до неї, а також Паризької угоди Україна забезпечує виконання зобов'язань у сфері зміни клімату за цими міжнародними угодами з урахуванням провідних світових технологій і практики, а також особливостей національних умов, можливостей, потреб та пріоритетів (Про ратифікацію Рамкової конвенції..., 1996; Про ратифікацію Кіотського протоколу..., 2004; Про ратифікацію Паризької угоди, 2016).

Вагомим кроком у виконанні міжнародних зобов'язань стало схвалення у вересні 2015 року розпорядженням Кабінету Міністрів України № 980-р від 16.09.2015 очікуваного національно-визначеного внеску України до проекту нової глобальної кліматичної угоди. Після набуття чинності Паризької угоди 04.11.2016 зазначений внесок став автоматично першим національно-визначеним внеском України до Паризької угоди. Відповідно до цього документу Україна взяла на себе зобов'язання не перевищити у 2030 році 60% від рівня викидів парникових газів у 1990 році.

### **Матеріал і методи**

Оцінка викидів парникових газів є складним та багатогранним процесом, що визначається особливостями процесів, перебіг яких призводить до їх емісії. Ось чому методологія оцінки викидів парникових газів має забезпечувати певну уніфікацію окремих методів.

Уповноваженими державними органами країн-учасників Рамкової конвенції ООН про зміну клімату здійснюється безперервний контроль емісії парникових газів і у вигляді щорічного національного інвентаризаційного звіту (в Україні – Національний кадастр антропогенних викидів із джерел та абсорбції поглиначами парникових газів в Україні), у якому наводиться інформація про обсяги викидів парникових газів за звітний період, та подається до Секретаріату Рамкової конвенції ООН зі зміни клімату (Секретаріат РКЗК ООН) (Lyashenko, 2022). Виконання цього звіту усіма країнами здійснюється відповідно до погоджених методологічних рекомендацій, які зазначені у Керівних принципах національних інвентаризацій парникових газів МГЕЗК, 2006 (Eggleston, 2006).

Керівні принципи містять методологічні рекомендації для оцінки викидів парникових газів для різних галузей антропогенної діяльності, які згруповані у вигляді п'яти основних секторів: «Енергетика», «Промислові процеси і використання продукції», «Відходи», «Лісове господарство та інші види землекористування», а також «Сільське господарство». Усі процеси кожного сектору, у тому числі й сектору «Сільське господарство», відповідно до їх особливостей, згруповані у окремі категорії з докладним описом методів оцінки різних рівнів деталізації.

Зазначені керівні принципи містять не лише методологічні вказівки щодо проведення заходів щодо обліку емісії парникових газів, але й

визначають основні принципи та визначення.

Як викиди (емісія) розглядається вивільнення парникових газів та/або їх прекурсорів до атмосфери на певній ділянці та протягом певного періоду часу. Також, у Керівних принципах визначено парникові гази та прекурсори, емісія яких призводить до посилення парникового ефекту, а саме:

- карбон (IV) оксид ( $\text{CO}_2$ );
- метан ( $\text{CH}_4$ );
- нітроген (I) оксид ( $\text{N}_2\text{O}$ );
- оксиди нітрогену ( $\text{NO}_x$ );
- амоніак ( $\text{NH}_3$ );
- карбон (II) оксид ( $\text{CO}$ );
- сульфур (IV) оксид ( $\text{SO}_2$ );
- леткі неметанові органічні сполуки;
- гідрогенфлуорокарбоніві сполуки ( $\text{CHF}_3$ ,  $\text{CH}_2\text{F}_2$ ,  $\text{CH}_3\text{F}$ ,  $\text{CHF}_2\text{CF}_3$ ,  $\text{CF}_3\text{CH}_3$  і т.д.);
- перфлуорокарбоніві сполуки ( $\text{CF}_4$ ,  $\text{C}_2\text{F}_6$ ,  $\text{C}_3\text{F}_8$ ,  $\text{C}_4\text{F}_{10}$  і т.д.);
- сульфур (VI) флуорид ( $\text{SF}_6$ );
- нітроген (III) флуорид ( $\text{NF}_3$ );
- сульфур (VI) пентафлуоридтрифлуорометил ( $\text{SF}_5\text{CF}_3$ );
- галогеновмісні етери ( $\text{C}_4\text{F}_9\text{OC}_2\text{H}_5$ ,  $\text{CHF}_2\text{OCF}_2\text{OC}_2\text{F}_4\text{OCHF}_2$ ,  $\text{CHF}_2\text{OCF}_2\text{OCHF}_2$ );
- та інші гази ( $\text{CF}_3\text{I}$ ,  $\text{CH}_2\text{Br}_2$ ,  $\text{CHCl}_3$ ,  $\text{CH}_3\text{Cl}$ ,  $\text{CH}_2\text{Cl}_2$  тощо).

Парникові гази мають різні фізико-хімічні властивості та можуть перебувати в атмосфері протягом різного періоду часу (від кількох діб до століть) – мають певний парниковий потенціал. Ось чому для кожного з названих газів визначається такий показник як потенціал глобального потепління, що розраховуються як відношення одного кілограма парникового газу, який надійшов до атмосфери, до впливу одного кілограма  $\text{CO}_2$  протягом певного періоду часу (наприклад 100 років). Так, для карбон (IV) оксиду ( $\text{CO}_2$ ) потенціал глобального потепління становитиме 1, а для метану ( $\text{CH}_4$ ) та нітроген (I) оксиду ( $\text{N}_2\text{O}$ ) – 25 і 298 відповідно. Таким чином:

- 1 т  $\text{CO}_2$  = 1 т  $\text{CO}_2$ -екв.;
- 1 т  $\text{CH}_4$  = 25 т  $\text{CO}_2$ -екв.;

– 1 т  $\text{N}_2\text{O}$  = 298 т  $\text{CO}_2$ -екв.

### Результати та обговорення

В Україні емісію парникових газів спричиняє діяльність у п'яти секторах антропогенної діяльності, а саме:

- Енергетика;
- Промислові процеси і використання продукції;
- Відходи;
- Лісове господарство та інші види землекористування;
- Сільське господарство.

Найбільший внесок у викиди парникових газів має енергетичний сектор, який у 2020 році становив 65%. Енергетичні системи переважно орієнтовані на спалювання палива (в основному викопного) та перетворення карбону та гідрогену у карбон (IV) оксид ( $\text{CO}_2$ ) і воду ( $\text{H}_2\text{O}$ ), що супроводжується вивільненням хімічної енергії палива та її перетворення у тепло. Наступними за внеском (18% у 2020 році) є промислові процеси, де оцінюються викиди парникових газів, пов'язані з промисловими процесами, використанням парникових газів у складі продукції та неенергетичним використанням викопного паливного вуглецю. Галузь сільського господарства також має суттєвий внесок (частка парникових газів, утворених внаслідок сільськогосподарської діяльності протягом 1990-2020 рр. коливалась в межах 9-14%) і лише дещо поступається промисловим процесам. Емісія парникових газів від поводження з відходами є незначною, але має стабільну тенденцію до поступового росту. У свою чергу, діяльність у секторі «Лісове господарство та інші види землекористування» в цілому характеризується поглинанням парникових газів.

Незважаючи на загальний тренд до зниження обсягів емісії парникових газів від сільськогосподарської діяльності, внесок сільського господарства у загальні викиди поступово зростає (рис. 1).

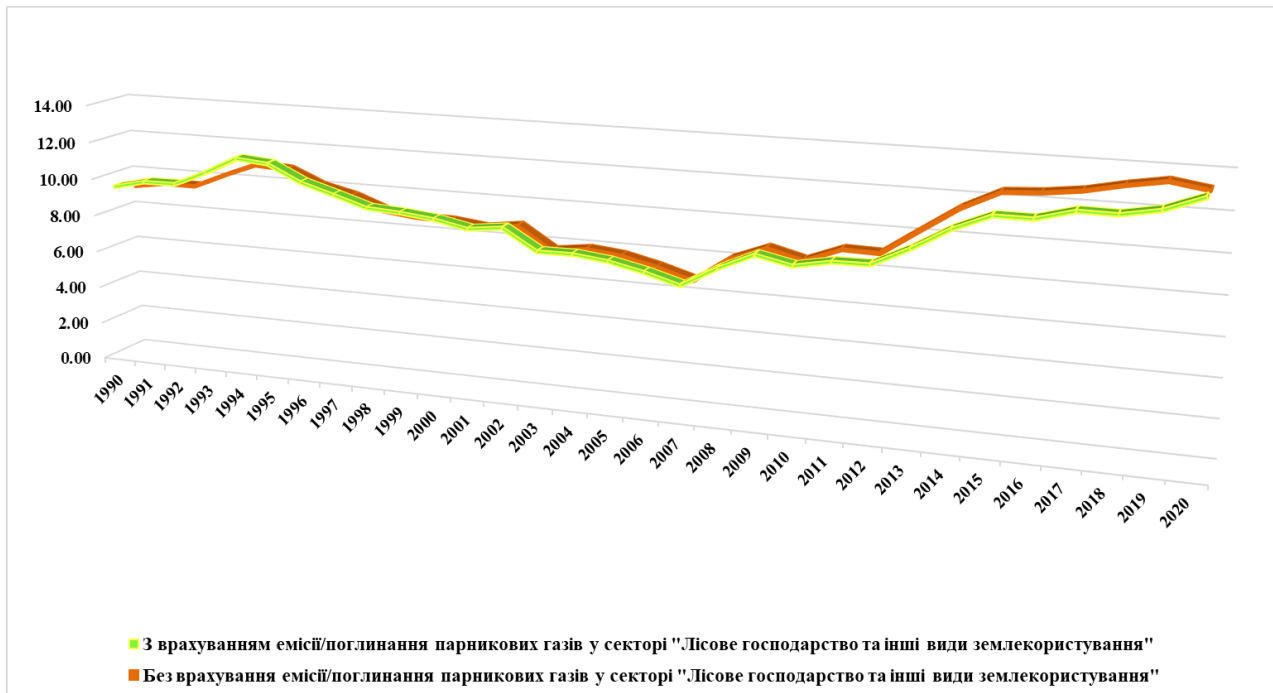


Рис. 1. Внесок сільськогосподарської діяльності у загальні викиди парникових газів, %

У сільському господарстві розглядаються викиди переважно трьох парникових газів (метан ( $CH_4$ ), нітроген (I) оксид ( $N_2O$ ) і карбон (IV) оксид ( $CO_2$ )), до викидів яких призводить діяльність у двох галузях – тваринництві та рослинництві.

Тваринництво характеризується двома процесами, які супроводжуються емісією переважно метану і у відносно незначній кількості – нітроген (I) оксиду:

- кишкова (або ентеральна) ферментація сільськогосподарських тварин (в основному великої рогатої худоби);

- поводження з послідом і гноєм сільськогосподарських тварин.

У свою чергу, рослинництво має набагато складнішу організацію і характеризується емісією усіх трьох парникових газів у наступних процесах:

$N_2O$

- внесення азотних (мінеральних) добрив;
- внесення органічних добрив;
- внесення органічних добрив від випасу худоби;
- внесення N із залишками польових культур;

- мінералізація або іммобілізація N, пов'язана з рухом органічної речовини у ґрунті;

- культивування органічних ґрунтів;

- вивітрювання N;

- вимивання N;

$CH_4$

- вирощування рису;

$CO_2$

- внесення сечовини;

- вапнування ґрунтів.

Тваринництво.

Ключовими факторами, які визначають динаміку емісії парникових газів у тваринництві є поголів'я сільськогосподарських тварин і система поводження з гноєм, за допомогою якої відбувається збирання, транспортування, зберігання і використання гною.

За роки незалежності суттєво змінилась кон'юнктура ринку, що призвело до суттєвого скорочення поголів'я сільськогосподарських тварин. Так, якщо у 1990 році поголів'я великої рогатої худоби, свиней, овець, коней та курей становило 24909.1, 19686.8, 8220.8, 746.0, 125010.3 тис. голів, то у 2020 році – 3181.0, 6053.4, 848.0, 218.0, 124584.5 тис. голів відповідно. Тож,

коли розглядати кожну тварину як окреме джерело викидів парникових газів, то й скорочення їх чисельності призводитиме до зменшення кількості джерел викидів з відповідними наслідками. Крім того, несиметричне скорочення поголів'я має також очевидний супутній ефект – зміна структури сільськогосподарських тварин. Зміна поголів'я сільськогосподарських тварин безпосередньо впливає на обсяги емісії парникових газів від кишкової ферментації та опосередковано – від поводження з послідом і гноєм (більше тварин – більше гною та посліду), а також деяких інших пов'язаних процесах сільського господарства.

Система поводження з гноєм як окремий фактор регулює обсяги емісії парникових газів як кількістю гною, що надходить до неї, так і типом системи, у

якій цей гній збирається, транспортується, зберігається і використовується. У галузі тваринництва України в основному використовуються наступні типи систем поводження з гноєм:

- система твердого зберігання;
- система зберігання рідкого гною;
- система зберігання у відкритих анаеробних лагунах;
- система аеробної обробки;
- компостування;
- гній/послід, який залишається на пасовищі, у загонах тощо.

Окрім технологічних відмінностей, вони відрізняються за інтенсивністю емісії парникових газів, яка математично відображається коефіцієнтом перетворення метану і коефіцієнтом викидів для прямих викидів  $N_2O$  (табл. 1), а саме:

Таблиця 1.

Коефіцієнт перетворення метану і коефіцієнт викидів для прямих викидів  $N_2O$

Система поводження з гноєм	Коефіцієнт перетворення метану (%)	Коефіцієнт викидів для прямих викидів $N_2O$ (кг $N_2O-N$ / кг N у системі)
система твердого зберігання	2	0,005
система зберігання рідкого гною	10	0,005
система зберігання у відкритих анаеробних лагунах	66	0,0
система аеробної обробки	0	0,01
Компостування	0,5	0,006
гній/послід, який залишається на пасовищі, у загонах тощо	1	–

Визначаючись відповідними факторами, викиди метану від кишкової ферментації за період 1990-2020 рр. (табл. 2) скоротилися в середньому на понад 81% (велика рогата худоба – -81,5%; вівці – -87,9%; свині – -69,3%). Незважаючи на значне скорочення поголів'я, внесок великої рогатої худоби у загальні обсяги емісії метану у цій категорії залишався визначальним протягом усього періоду (рис. 2), що пояснюється на стільки значним їх поголів'ям, скільки схильністю травної системи до метаноутворення.

Від систем поводження з гноєм викиди парникових газів за звітний період також скоротилися (табл. 2). В цілому, викиди метану та нітроген (I) оксиду скоротилися більше ніж на 70%, що визначається кількома факторами: зміною поголів'я сільськогосподарських тварин та співвідношенням систем за кількістю гною/посліду, з якими проводять процедури збирання, транспортування, зберігання і використання (табл. 3).

Таблиця 2.

Динаміка викидів парникових газів в сільському господарстві від основних джерел

Джерело викидів	Обсяги емісії парникових газів (тис. т)			
	1990	2000	2010	2020
<i>CH<sub>4</sub></i>				
Кишкова ферментація	1 572,45	710,41	402,16	297,88
Система поводження з гноєм	140,04	48,02	48,56	39,46
Вирощування рису	8,66	7,48	8,69	3,32
<i>N<sub>2</sub>O</i>				
Система поводження з гноєм	10,99	4,45	3,64	3,22
Сільськогосподарські ґрунти (прямі викиди)	99,52	45,95	55,39	84,35
Сільськогосподарські ґрунти (непрямі викиди)	26,92	10,14	13,37	22,51
<i>CO<sub>2</sub></i>				
Вапнування ґрунтів	2 592,08	63,47	127,46	131,35
Внесення сечовини	270,14	82,20	334,73	235,51

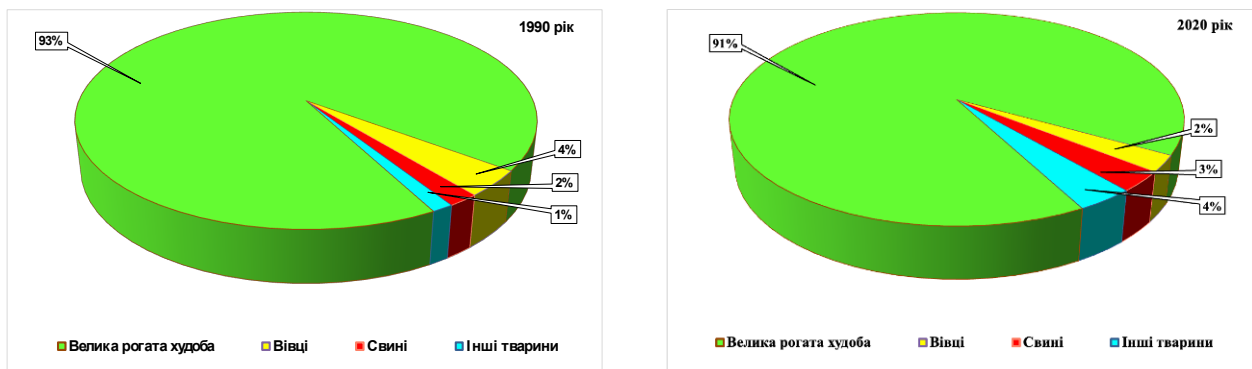


Рис. 2. Джерела емісії метану від кишкової ферментації

Варто зазначити, що скорочення поголів'я сільськогосподарських тварин вплинуло на структуру сільськогосподарських підприємств за кількістю поголів'я і на тип системи поводження з гноєм, що застосовується у них. Так, у різних статеві-вікових групах великої рогатої худоби прослідковується помітне скорочення обсягів гною, що обробляється у системі зберігання рідкого гною, та зростання його обсягів у інших системах, які характеризуються значно нижчим коефіцієнтом перетворення метану.

Найбільш вагомою (табл. 4) за обсягами емісії парникових газів у галузі тваринництва є категорія кишкової ферментації (переважно кишкова ферментація великої рогатої худоби). Так, протягом 1990-2020 рр. її частка коливалась в межах 80-85%, хоча станом на 2020 р. і знизилась до 79,3%.

Слід зазначити, що у зв'язку з відсутністю методології оцінка викидів метану від кишкової ферментації птиці (курей, гусей, качок, індиків тощо) не здійснюється. У той час, як емісія метану та нітроген (I) оксиду визначається і додається до загальної кількості парникових газів.

Таблиця 3.

Співвідношення систем поводження з гноєм/послідом за основними групами сільськогосподарських тварин

Система поводження з гноєм	Співвідношення систем (%)			
	1990	2000	2010	2020
<i>Доросла молочна худоба</i>				
Система зберігання рідкого гною	15,58	0,42	0,98	1,32
Система твердого зберігання	45,20	49,81	49,46	48,93
Гній/послід, який залишається на пасовищі, у загонах тощо	38,87	49,58	49,51	49,34
Компостування	0,35	0,19	0,05	0,41
<i>Доросла немолочна худоба</i>				
Система зберігання рідкого гною	20,20	0,85	3,09	3,53
Система твердого зберігання	43,78	49,60	48,29	47,15
Гній/послід, який залишається на пасовищі, у загонах тощо	35,57	49,15	48,45	48,24
Компостування	0,45	0,40	0,17	1,09
<i>Молодняк великої рогатої худоби</i>				
Система зберігання рідкого гною	19,14	0,75	2,05	2,36
Система твердого зберігання	44,11	49,65	48,87	48,09
Гній/послід, який залишається на пасовищі, у загонах тощо	36,33	49,25	48,98	48,82
Компостування	0,43	0,35	0,11	0,73
<i>Свині</i>				
Система зберігання у відкритих анаеробних лагунах	0,00	2,95	6,25	2,62
Система зберігання рідкого гною	27,31	4,05	13,83	31,19
Система твердого зберігання	68,66	92,83	79,81	65,19
Компостування	0,34	0,17	0,11	0,99
Система аеробної обробки	3,69	0,00	0,00	0,00
<i>Птиця</i>				
Пташиний послід без підстилки	77,03	60,49	76,33	78,58
Компостування	0,42	0,16	0,35	0,00
Гній/послід, який залишається на пасовищі, у загонах тощо	22,55	39,35	23,32	21,42



Таблиця 4.

## Динаміка викидів парникових газів у галузі тваринництва

Джерело викидів	Обсяги емісії парникових газів (тис. т CO <sub>2</sub> -екв.)						
	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020
Кишкова ферментація (CH <sub>4</sub> )	39 311,34	30 161,83	17 760,14	13 372,80	10 054,08	8 986,58	7 447,07
<i>у тому числі: кишкова ферментація великої рогатої худоби (CH<sub>4</sub>)</i>	36 536,50	28 325,69	16 694,79	12 473,19	9 138,46	8 172,77	6 773,73
Система поводження з гноєм (CH <sub>4</sub> )	3 500,97	2 318,60	1 200,54	1 032,08	1 214,05	1 126,26	986,51
Система поводження з гноєм (NO <sub>2</sub> )	3 273,79	2 314,81	1 326,89	1 118,61	1 083,76	1 049,51	958,15
Разом	46 086,10	34 795,24	20 287,57	15 523,49	12 351,89	11 162,35	9 391,72
Частка викидів від кишкової ферментації, %	85,3	86,7	87,5	86,1	81,4	80,5	79,3
Частка викидів від систем поводження з гноєм, %	14,7	13,3	12,5	13,9	18,6	19,5	20,7

Рослинництво.

Галузь рослинництва у сільському господарстві є багатогранною, а тому виділити загальні ключові фактори, які

б визначали динаміку викидів парникових газів в усіх або більшості процесів, неможливо – лише спеціальні, а саме:

внесення азотних (мінеральних) добрив	– кількість внесених до орних ґрунтів азотних (мінеральних) добрив;
внесення органічних добрив	– кількість внесених до орних ґрунтів органічних добрив;
внесення органічних добрив від випасу худоби	– кількість посліду, що залишається на полях випасу сільськогосподарських тварин;
внесення N із залишками польових культур	– кількість N у рослинних рештках (а відповідно і кількість самих решток), які залишаються на полях після збору врожаю та заорюються до ґрунту;
культивування органічних ґрунтів	– площа органічних ґрунтів, відведених під польові культури;
мінералізація або іммобілізація N, пов'язана з рухом органічної речовини у ґрунті	– кількість N, втраченого внаслідок управління ґрунтом (обробіток ґрунту, внесення добрив, заорювання рослинних решток та ін.);
вивітрювання N	– кількість N, внесеного до ґрунту з різних джерел;
вимивання N	– кількість N, внесеного до ґрунту з різних джерел;
вирощування рису	– площа сільськогосподарських ґрунтів, відведених під рис, та кількість внесених органічних добрив;
внесення сечовини	– кількість внесеної до орних ґрунтів сечовини;
вапнування ґрунтів	– кількість внесених вапнувальних матеріалів.

Антропогенна діяльність у цій галузі призводить до емісії трьох основних парникових газів – метану, нітроген (I) оксиду і карбон (IV) оксиду. Проте, найбільші обсяги викидів спостерігаються у N<sub>2</sub>O (табл. 5), частка якого зростає до майже 99%. Доречно зауважити, що зростання частки нітроген (I) оксиду відбувається на фоні скорочення емісії цього газу і є наслідком більшого скорочення емісії інших газів.

У цілому в галузі рослинництва спостерігаються два напрямки

динаміки викидів нітроген (I) оксиду – це суттєве та стрімке скорочення на понад 60% до 2003 року і подальше поступове зростання. Так, у 2020 році обсяги емісії N<sub>2</sub>O були нижчими за базовий 1990 рік лише на 15,5%. Слід зазначити, що протягом останнього десятиріччя найвищі обсяги викидів нітроген (I) оксиду відбулися у 2019 році та перевищили 115,66 тис. т N<sub>2</sub>O, а це лише на 8,52% менше ніж у 1990 році (див. табл. 2).

Таблиця 5.

Розподіл парникових газів у галузі рослинництва за обсягами емісії

Тип парникового газу	Обсяги емісії парникових газів						
	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020
Карбон (IV) оксид, %	7,02	5,57	0,85	1,25	2,18	1,60	1,14
Метан, %	0,53	0,64	1,10	0,86	1,03	0,31	0,26
Нітроген (I) оксид, %	92,45	93,79	98,05	97,89	96,79	98,09	98,61
Разом, тис. т CO <sub>2</sub> -екв.	40 756,83	25 812,47	17 047,11	18 389,45	21 168,99	28 215,65	32 295,39

Таке «відновлення» галузі не є поверненням її розвитку до рівня 1990 року. Розвиток різних сфер рослинництва відбувається у різних напрямках та з різною інтенсивністю. Крім того, сфери галузі рослинництва

мають різний внесок у сукупні обсяги емісії N<sub>2</sub>O (рис. 3). Як у 1990, так і у 2020 році найбільша частка викидів припадає на внесення N з мінеральними добривами та внесення N із залишками польових культур.

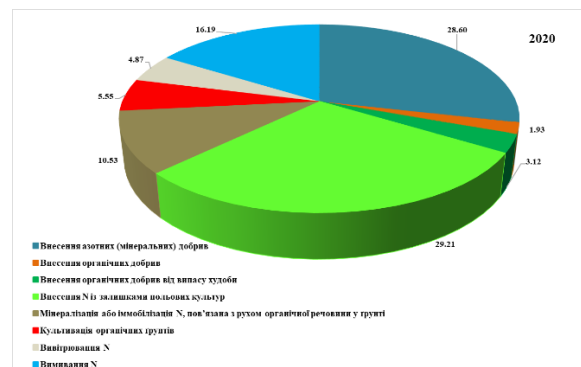
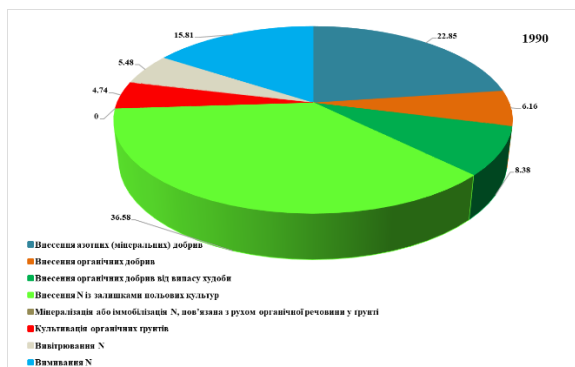


Рис. 3. Внесок різних сфер галузі рослинництва у сукупні обсяги емісії нітроген (I) оксиду

Внесення азотних (мінеральних) добрив – сфера галузі, яка характеризується збільшенням обсягів викидів нітроген (I) оксиду (на 5,78%), що обумовлюється зростанням обсягів

внесених азотних добрив від 1841,86 до 1946,39 тис. т діючої речовини.

У свою чергу, внесення органічних добрив – навпаки, характеризується найбільшим

скороченням викидів  $N_2O$  (майже на 73,5% у порівнянні з 1990 роком), що викликано різними причинно-наслідковими факторами (скорочення поголів'я, зміна практики застосування органічних добрив тощо).

Кількість органічної речовини, залишеної сільськогосподарськими тваринами на пасовищі, у загонах і т.д., також зменшилась у обсягах внаслідок скорочення поголів'я та зміни технології їх утримання. Ці обставини призвели до зменшення емісії  $N_2O$  на понад 68,5% у порівнянні з 1990 роком.

Викиди нітроген (I) оксиду від рослинних решток повторили загальну динаміку у галузі та після найбільшого скорочення (у 2003 році – на 60,5%) почали поступово зростати. Так, у 2020 році емісія цього парникового газу перевищила 31,2 тис. т  $N_2O$ , що становило -32,5% до базового 1990 року.

Культивація органічних ґрунтів має слабе поширення в Україні, але за роки незалежності площа органічних ґрунтів, відведених під польові культури, дещо збільшилась, що призвело до збільшення викидів нітроген (I) оксиду (від 5,99 у 1990 р. до 6,13 тис. т  $N_2O$  протягом 1994-2012 рр.). Проте, починаючи з 2013 року, ця сфера зазнає незначного поступового занепаду і, як наслідок, скорочення викидів до 5,93 тис. т  $N_2O$  (відповідно - 1,07% до показників 1990 року).

Ведення сільського господарства, пов'язаного із ґрунтом, передбачає здійснення спеціальних заходів: оранка, культивування, удобрення, вапнування, вирощування польових культур, заорювання рослинних решток, випас сільськогосподарських тварин тощо. Такий вплив на ґрунтовий покрив призводить до зміни вмісту органічної речовини у ньому – мінералізації або іммобілізації нітрогену у ґрунті. За роки незалежності у системі управління сільськогосподарськими ґрунтами все більшої ваги почали набувати заходи, які призводять до зменшення запасів

органічної речовини, а отже і росту обсягів емісії нітроген (I) оксиду. Так, втрати органічної речовини ґрунту розпочалися у 1993 році, які призвели до викидів 0,22 тис. т  $N_2O$ , і поступово зросли до 19,74 та 11,25 тис. т  $N_2O$  у 2019 і 2020 рр. відповідно.

Усі нітрогеновмісні сполуки мають властивість втрачати N у вигляді  $N_2O$  шляхом його депонування до атмосфери (вивітрювання) та вимивання, що відображається у відповідних сферах рослинництва. Втрати нітрогену внаслідок вивітрювання/вимивання безпосередньо залежать від його кількості, яка була внесена з різних джерел (атмосферне депонування нітрогену для внесення N із залишками польових культур та мінералізації/іммобілізації N, пов'язаної з рухом органічної речовини у ґрунті, не передбачена). Тому, за період 1990-2020 років спостерігається скорочення емісії нітроген (I) оксиду від втрат нітрогену шляхом вивітрювання і вимивання на 24,85 та 13,45 % відповідно.

Культивацію рису слід розглядати окремо, оскільки технологія вирощування цієї культури обумовлює емісію метану. Слід враховувати, що ця культура є слабо поширеною в Україні (площа сільськогосподарських угідь, відведених під рис у 1990 році становила 27700 га, у 2013 році – 24200 га, а протягом 2014-2020 рр. – коливалась у межах 10200-12700 га), а тому і викиди метану незначні. Так, протягом 1990-2013 рр. викиди коливались у межах 8,8-5,6 тис. т  $CH_4$ , а у 2014-2020 рр. – 3,8-3,0 тис. т  $CH_4$ .

Використання сечовини і вапнувальних матеріалів у рослинництві також слід розглядати окремо, оскільки їх розкладання призводить до утворення та емісії карбон (IV) оксиду. Інтенсивність застосування сечовини протягом 1990-2020 років змінювалася і врешті-решт скоротилася, але в цілому не зазнала суттєвих змін (235,5 у 2020 р. проти 270,1 тис. т  $CO_2$  у 1990 р.).

Вапнування ґрунтів, у свою чергу, зазнало значних змін у напрямку скорочення обсягів застосованих вапнувальних матеріалів, а отже і викидів CO<sub>2</sub>. Так, протягом 1990-1995 рр. емісія карбон (IV) оксиду поступово скорочувалась від 2592,1 до 1351,3 тис. т CO<sub>2</sub>, а вже у 1996 році – різко впали до 299,2 тис. т CO<sub>2</sub> і продовжили скорочуватися до 49,4 тис. т CO<sub>2</sub> у 2003 році. Застосування вапнування сільськогосподарських ґрунтів як агротехнічного прийому у подальшому поступово почало відновлюватися, що супроводжувалося приростом у обсягах емісії карбон (IV) оксиду, котрі у 2020 році вже досягли 131,3 тис. т CO<sub>2</sub>.

#### **Висновки**

Галузь сільського господарства має значний внесок у загальні викиди парникових газів в Україні, який протягом 1990-2020 рр. коливався в межах 9-14% і має тенденцію до поступового зростання.

Сільськогосподарська діяльність призводить переважно до емісії трьох різновидів парникових газів (метану (CH<sub>4</sub>), нітроген (I) оксиду (N<sub>2</sub>O) і карбон (IV) оксиду (CO<sub>2</sub>)). Їх продукування викликається діяльністю у двох галузях – тваринництві та рослинництві.

Тваринництво характеризується двома процесами, які супроводжуються емісією переважно метану, а саме: кишкова (або ентеральна) ферментація сільськогосподарських тварин і поводження з послідом і гноєм сільськогосподарських тварин. Ключовими факторами, які визначають динаміку викидів парникових газів у тваринництві є поголів'я сільськогосподарських тварин

і система поводження з гноєм, за допомогою якої відбувається збирання, транспортування, зберігання і використання гною. Найбільш вагомою за обсягами емісії парникових газів у галузі тваринництва є категорія кишкової ферментації (переважно кишкова ферментація великої рогатої худоби), частка якої протягом 1990-2020 рр. коливалася в межах 80-85%, а станом на 2020 р. знизилася до 79,3%.

Викиди парникових газів у галузі рослинництва (насамперед нітроген (I) оксиду, карбон (IV) оксиду, а також метану) обумовлюються наступними видами діяльності: внесення азотних (мінеральних) добрив; внесення органічних добрив; внесення органічних добрив від випасу худоби; внесення N із залишками польових культур; мінералізація або іммобілізація N, пов'язана з рухом органічної речовини у ґрунті; культивування органічних ґрунтів; вивітрювання N; вимивання N; вирощування рису; внесення сечовини; вапнування ґрунтів. Основним парниковим газом у цій галузі є нітроген (I) оксид, динаміка емісії якого в цілому характеризується двома напрямки – це суттєве та стрімке скорочення на понад 60% до 2003 року і подальше поступове зростання. Розвиток різних сфер рослинництва відбувається у різних напрямках та з різною інтенсивністю, а тому мають різний внесок у сукупні обсяги емісії N<sub>2</sub>O. Найбільша частка викидів, як у 1990, так і у 2020 році, припадає на внесення N з мінеральними добривами та внесення N із залишками польових культур.

#### **Список використаних джерел**

Про ратифікацію Рамкової конвенції ООН про зміну клімату: Закон України від 29 жовтня 1996 р. № 435/96 – ВР. *Відомості Верховної Ради України*. 1996. №50. ст. 277. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/435/96-вр#Text>.

Про ратифікацію Кіотського протоколу до Рамкової Конвенції Організації Об'єднаних Націй про зміну клімату: Закон України від 4 лютого 2004 р. №1430-IV. *Відомості Верховної Ради України*. 2004, №19, ст. 261. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1430-15#Text>.

Про ратифікацію Паризької угоди: Закон України від 14 липня 2016р. №1469 – VIII. *Відомості Верховної Ради України*. 2016. №35. ст. 595. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1469-19#Text>.

Lyashenko V., Onopchuk I., Tymoshchuk O. and oth. Ukraine's Greenhouse Gas Inventory 1990-2020 / National Inventory Submissions 2022. 599 с. URL: <https://unfccc.int/documents/476868>.

Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. and Tanabe K. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme. IPCC 2006. Published: IGES. 2006. Japan. [Електронний ресурс]. URL: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/index.html>.

### References (translated & transliterated)

Pro ratyfikaciju Ramkovoji konvenciji OON pro zminu klimatu: Zakon Ukrajinu vid 29 zhovtnja 1996 r. N 435/96 – VR. (1996). [On the ratification of the UN Framework Convention on Climate Change: Law of Ukraine dated October 29, 1996 N. 435/96 – VR]. *Vidomosti Verkhovnoji Rady Ukrajinu* [Information of the Verkhovna Rada of Ukraine]. N50. 277 p. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/435/96-vr#Text> [in Ukrainian].

Pro ratyfikaciju Kiotsjkogho protokolu do Ramkovoji Konvenciji Orghanizaciji Ob'jednanykh Nacij pro zminu klimatu: Zakon Ukrajinu vid 4 ljutogho 2004 r. N1430-IV. *Vidomosti Verkhovnoji Rady Ukrajinu*. №19, p. 261. [in Ukrainian].

Pro ratyfikaciju Paryzkoji ughody: Zakon Ukrajinu vid 14 lypnja 2016r. N1469 – VIII. (2016). [On ratification of the Paris Agreement: Law of Ukraine dated July 14, 2016 N1469]. *Vidomosti Verkhovnoji Rady Ukrajinu*. [Information of the Verkhovna Rada of Ukraine].

<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1469-19#Text> [in Ukrainian].

Lyashenko, V., Onopchuk, I., Tymoshchuk, O. and oth. (2022) Ukraine's Greenhouse Gas Inventory 1990-2020 / National Inventory Submissions. URL: <https://unfccc.int/documents/476868>. [in English].

Eggleston, H.S., Buendia, L., Miwa, K., Ngara, T. and Tanabe, K. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme. IPCC 2006. Published: IGES. 2006. Japan. [Електронний ресурс]. URL: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/index.html>. [in English].

Отримано: 22 червня 2022  
Прийнято: 28 вересня 2022