

**НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ АГРАРНИХ НАУК УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА
КАРПАТСЬКОГО РЕГІОНУ**

**СПОСІБ ЗНИЖЕННЯ ЕМІСІЇ ШКІДЛИВИХ ГАЗІВ З
ГНОЮ ХУДОБИ
(науково-практичні рекомендації)**



Оброшине – 2025

Спосіб зниження емісії шкідливих газів з гною худоби (науково-практичні рекомендації) / М.І. Воробель, О.Я. Клим, Г.Я. Телушко, Я.І. Петтель, М.В. Балда. Оброшине, 2025. 36 с.

У науково-практичних рекомендаціях узагальнено та проаналізовано шляхи зменшення викидів шкідливих газів у довкілля з гною великої рогатої худоби під час зберігання його у лагунах (сховищах) за рахунок застосування неорганічних та біологічно активних речовин.

Зниження емісії шкідливих газів сприятиме виконанню зобов'язань, що стоять перед Україною згідно Рамкової Конвенції ООН про зміну клімату (РКЗК ООН) (1992 р.) і Паризькою угодою (2015 р.) та відповідатиме Стратегії екологічної політики України.

Науково-практичні рекомендації розроблено в Інституті сільського господарства Карпатського регіону НААН (ІСГКР НААН).

Автори розробки:

канд. с.-г. наук, старший дослідник, провідний науковий співробітник ІСГКР НААН М.І. Воробель; канд. с.-г. наук, старший науковий співробітник ІСГКР НААН О.Я. Клим; науковий співробітник ІСГКР НААН Г.Я. Телушко; науковий співробітник ІСГКР НААН Я.І. Петтель; технік ІСГКР НААН М.В. Балда.

Рецензенти:

С.О. Вовк – д-р. біол. наук, професор, завідувач відділу дрібного тваринництва ІСГ Карпатського регіону НААН;

В.О. Пінчук – канд. с.-г. наук, с. н. с., завідувач лабораторії екології Інституту агроекології та природокористування НААН,.

Розглянуто і затверджено до друку рішенням Вченої ради Інституту
сільського господарства Карпатського регіону НААН,
протокол № 12 від 28.10.2025 р.

© Воробель М.І., Клим О.Я., Телушко Г.Я.,
Петтель Я.І., Балда М.В., 2025

© Видавництво Інституту
сільського господарства Карпатського
регіону НААН України, 2025

ЗМІСТ

СКОРОЧЕННЯ, ТЕРМІНИ ТА ВИЗНАЧЕННЯ.....	4
ВСТУП.....	5
1. ПОБІЧНА ПРОДУКЦІЯ СКОТАРСТВА ЯК ДЖЕРЕЛО ЕМІСІЇ ШКІДЛИВИХ ГАЗІВ.....	8
2. НАУКОВО-ПРАКТИЧНІ ЗАСАДИ ЩОДО ВИКОРИСТАННЯ РЕЧОВИН ДЛЯ МІНІМІЗАЦІЇ ЕМІСІЇ ШКІДЛИВИХ ГАЗІВ ІЗ ГНОЮ ХУДОБИ.....	15
ВИСНОВКИ.....	27
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	28

СКОРОЧЕННЯ, ТЕРМІНИ ТА ВИЗНАЧЕННЯ

АПК – агропромисловий комплекс;
АТОВ – аграрне товариство з обмеженою відповідальністю;
ВНП – виробничо-наукове підприємство;
ВРХ – велика рогата худоба;
г – грам;
ДП – державне підприємство;
кг – кілограм;
км – кілометр;
л – літр;
м³ – метр кубічний;
мг – міліграм;
МГЕЗК – Міжурядова група експертів зі зміни клімату;
млн – мільйон;
МОЗ – Міністерство охорони здоров'я;
НПС – навколишнє природне середовище;
НВП – науково-виробниче підприємство;
ООН – Організація Об'єднаних Націй;
ПГ – парникові гази;
ПрАТ – приватне акціонерне товариство;
РКЗК ООН – Рамкова Конвенція ООН про зміну клімату;
рис – рисунок;
т – тонна;
тис – тисяча;
ТОВ – товариство з обмеженою відповідальністю;
ТУ – технічні умови;
ФГ – фермерське господарство;
CH₄ – метан;
CO₂ – вуглекислий газ (діоксид карбону);
FAO – Food and Agriculture Organization;
H₂S – сірководень;
N₂O – закис азоту (геміоксид азоту);
NH₃ – аміак;
NO – оксид азоту;
рН – кислотність
% – відсотки;
°C – градусів за Цельсієм.

ВСТУП

Аграрний сектор з його складовою – сільським господарством є пріоритетною галуззю для розвитку зовнішньої і внутрішньої економіки країни, адже відповідає за продовольчу незалежність й безпеку держави та слугує визначальним фактором для сталого соціально-економічного стану країни [8, 20, 34, 44]. На даний час більше 80 % фонду споживання становить продукція сільського господарства, а її виробництво є основною умовою для життя людини [49]. Однією із важливих галузей тваринництва є скотарство, підтвердженням цьому є висока питома вага молока і м'яса [29]. Серед загальної структури продукції тваринництва від даної галузі одержують понад 95 % молока і близько 20–30 % м'яса [23]. За даними Food and Agriculture Organization (FAO) – 16 % енергії людство одержує з їжі тваринного походження, зокрема, молока [1]. Отже, забезпечення населення продуктами вітчизняного виробництва залишається актуальним питанням продовольчої безпеки будь-якої країни.

У структурі світового балансу м'яса перше місце займає свинина – близько 37,6 %, друге місце – м'ясо птиці – 35 %, третє – яловичина – 22,6 %, а баранина становить – 4,8 %. Однак, в Україні в загальному фонді споживання м'ясної продукції половина припадає на м'ясо птиці, свинина посідає друге місце з часткою – 37 %, а яловичині належить 13 %. На сьогодні в нашій країні споживання продукції тваринництва є нижчим від раціональних норм. Скорочення поголів'я худоби, яке прискорилося після початку повномасштабного вторгнення обумовлює зменшення виробництва продукції. Зокрема, держава на даний час забезпечує потреби внутрішнього ринку в споживанні м'яса на рівні 52 кг, а молочної продукції – 220 кг на одну людину на рік, що менше від раціональної норми, рекомендованої Міністерством охорони здоров'я (МОЗ) України – на 35 % і 42,1 %, відповідно [1, 19]. Рентабельність галузі, окрім виробництва та якості продукції має на меті також і екологічну безпеку процесів виробництва, тобто забезпечити добробут тварин та зменшити негативну дію на довкілля накопичених органічних відходів [21, 22, 24, 25, 51].

Функціонування агропромислових сільськогосподарських підприємств обумовлює нагромадження, одночасно з основною продукцією значного обсягу побічної продукції тваринного походження, зокрема відходів, що породжують ряд зоотехнічних, ветеринарних та екологічних проблем [34, 35, 39, 40, 56, 57]. Щорічно в нашій державі накопичуються мільйони тонн органічних відходів тваринницьких комплексів, переробних підприємств тощо [7, 16, 32]. Зокрема, в Україні від поголів'я худоби, свиней та птиці, що утримується підприємствами агропромислового комплексу (АПК) впродовж року утворюється понад 52 млн т гною [16, 58]. Ферми є потужними джерелами забруднення довкілля, оскільки вони виробляють набагато більше побічної продукції тваринного походження, ніж може бути утилізовано на їх прилеглих територіях [18, 69]. Під час розкладання органічних відходів, як в аеробних, так і анаеробних умовах, тобто за доступу кисню, так і без нього під дією мікроорганізмів відбувається утворення летких продуктів розпаду, в результаті чого в атмосферу виділяється значне число газоподібних аерополітантів, у тому числі і шкідливих газів – метану (CH_4), оксиду (NO) та закису (N_2O) азоту, вуглекислого газу (CO_2), аміаку (NH_3), сірководню (H_2S) тощо [25, 74, 79, 80]. Надлишок в атмосфері парникових газів (ПГ) сприяє підвищенню температури повітря, зростанню рівня океанів, частоти й потужностей природних катастроф і катаклізмів (опустелювання, зсуви, урагани, посухи, повені), виникненню кислотних дощів, зменшенню запасів питної води, утворенню атмосферного аерозолі тощо, а отже, обумовлює погіршення екологічної ситуації [6, 17, 35, 36, 62, 69, 71].

Шляхи вирішення зміни клімату є глобальним викликом і відображено у низці послідовно укладених міжнародних угод: Рамковій Конвенції ООН про Зміну Клімату (РКЗК ООН) (1992 р.), Кіотському протоколі (1997 р.) та Паризькій угоді (2016 р.) тощо. Враховуючи, що за допомогою інструментів, передбачених першими двома угодами суттєвого скорочення викидів парникових газів досягти не вдалося було укладено Паризьку угоду, яка спрямована на зниження рівня емісії парникових газів та обмеження зростання температури повітря до $1,5\text{ }^\circ\text{C}$ від доіндустріального рівня. У вищевказаній угоді Україна зобов'язалася обмежити викиди парникових

газів на рівні, який до 2030 р. не перевищуватиме 60 % від рівня 1990 р. [35, 39, 47, 52]. Об'єктивну оцінку змін, що відбуваються у кліматичній системі, періодично надає Міжурядова група експертів зі зміни клімату (МГЕЗК). В 2007 р. МГЕЗК у IV Доповіді з оцінки змін клімату вказує на безпрецедентну швидкість збільшення вмісту парникових газів в атмосфері. Зокрема, концентрація CO₂, в порівнянні з доіндустріальною епохою, зросла на третину, а також відбувалося підвищення рівня метану і закису азоту. Збільшення концентрації цих парникових газів із середини 18 століття, на думку вчених, з дуже високим ступенем ймовірності пов'язане з господарською діяльністю людини. За 100-річний період (1906–2005 рр.) зростання глобальної температури за лінійним трендом дорівнює 0,74 °C. Це свідчить про подальше підвищення температури в планетарному масштабі, у порівнянні з матеріалами Третьої доповіді (0,6 °C) [35]. У 2018 р. МГЕЗК на V доповіді, яка стала науковою основою для Паризької кліматичної угоди, наголошує на тому, що діяльність людини спричинила 1,0 °C глобального потепління вище доіндустріального рівня з ймовірним діапазоном від 0,8 °C до 1,2 °C. Якщо в попередніх доповідях МГЕЗК розглядали різні чинники, які могли б посилювати зміну клімату, то у VI Доповіді з оцінки змін клімату (2021 р.) наголошується, що її безперечно спричинила діяльність людини, яка викликала частіші та інтенсивніші кліматичні явища, такі, як сильні зливи й посухи тощо. Людська діяльність, що супроводжується викидами парникових газів і аерозолів, які частково маскують потепління, завдяки охолоджуючому ефекту, призвела до підвищення температури в кліматичній системі такими темпами, які безпрецедентні за принаймні останні 2000 років. Зростання температури відбувається більше над сушею (на 1,6 °C), у порівнянні з водними об'єктами (0,9 °C). Вважається, що критичною межею підвищення середньорічної температури є 2–2,5 °C, оскільки подальше її збільшення призведе до катастрофічного стану біосфери [47]. Таким чином, сільське господарство в цілому і тваринництво, зокрема, яке часто потерпає від зміни клімату, одночасно є однією із причин цієї зміни.

Враховуючи наведене, слід зазначити, що для забезпечення сталої екологічної ситуації на нашій планеті надзвичайно важливо є утримувати баланс між

поглинанням та випромінюванням енергії, однак під час своєї господарської діяльності людство збільшує кількість шкідливих газів, тим самим порушує його. Отже, суспільству випадає взяти на себе турботу про відновлення його властивостей та охорони від подальшої деградації.

1. ПОБІЧНА ПРОДУКЦІЯ СКОТАРСТВА ЯК ДЖЕРЕЛО ЕМІСІЇ ШКІДЛИВИХ ГАЗІВ

Майбутнє країни неможливе без потужного аграрного сектору економіки, що одночасно виступає значним джерелом викидів забруднюючих речовин в атмосферу.

Згідно з оцінками Продовольчої та сільськогосподарської організації ООН, сільське та лісове господарство – другий за масштабами сектор утворення парникових газів і на нього припадає 24 %. Зокрема, викиди парникових газів від сектору тваринництва становлять 18 % усіх викидів, пов'язаних з людською діяльністю [37, 63, 68, 69]. Це більше, ніж продукує весь транспортний сектор – 14 % [28, 57]. Порівнюючи тваринництво з усім сільськогосподарським виробництвом слід відмітити, що воно, забезпечуючи 18 % необхідних людині калорій та 37 % протеїну, обумовлює 58 % усіх викидів парникових газів від сільськогосподарського сектору, а забруднення води та повітря складає, відповідно, 57 % і 56 % [46].

За даними Національного кадастру антропогенних викидів із джерел і абсорбції поглиначами парникових газів в Україні, інвентаризація охоплює викиди 6 парникових газів прямої дії: вуглекислого газу, метану, закису азоту, гідрофторвуглеців, перфторвуглеців, гексафториду сірки. Водночас із цим, в інвентаризацію включаються також і парникові гази непрямої дії, а саме: оксид вуглецю (I), оксиди нітрогену, леткі неметанові сполуки, а також оксид сірки (IV) [47]. Тваринництво обумовлює викиди парникових газів на різних рівнях харчового ланцюга. Зокрема, кормові культури та пасовища переважно утворюють закис азоту та аміак, тварини генерують внаслідок кишкової ферментації в

основному метан, при диханні – вуглекислий газ, а нагромадження продуктів їх життєдіяльності – відходів, головним чином зумовлює надходження метану, аміаку і закису азоту та меншою мірою інших газів [30, 61].

Тваринництво відповідає за утворення в середньому 9 % світових викидів вуглекислого газу, 37 % антропогенного метану, 64 % викидів амонію і 65 % – закису азоту. Отже, галузь впливає на атмосферне повітря та є додатковим джерелом викидів, які мають безпосереднє відношення до зміни клімату [5, 73, 87]. Парникові гази мають різні фізико-хімічні властивості та можуть перебувати в атмосфері протягом різного періоду часу (від кількох діб до століть), тобто мають певний парниковий потенціал. Тому, для кожного газу визначається показник, як потенціал глобального потепління, що розраховується як відношення одного кілограма парникового газу, який надійшов до атмосфери, до одного кілограма CO_2 впродовж певного періоду часу (100 років) [43, 47, 51]. Так, для вуглекислого газу потенціал глобального потепління становить одиницю. Потоки CO_2 між атмосферою та екосистемами регулюються за допомогою поглинання через фотосинтез рослин і вивільнення при диханні, розкладання органічної речовини [43]. Потенціал впливу метану на клімат планети в 21–34 рази вищий, порівняно з CO_2 і цей газ здатний зберігатися в атмосфері до 12 років [62, 63, 71]. Метан виділяється в процесі метаногенезу в анаеробних умовах з ґрунтів і гноєсховищ, у процесі ентеральної ферментації та при неповному горінні органічної речовини [5]. Викиди амонію в значній мірі сприяють утворенню кислотних дощів і підкисленню екосистем. Роль і потенціал N_2O в процесі глобального потепління в середньому в 265–310 разів перевищує аналогічні показники CO_2 [37, 43, 59, 63]. Головними джерелами викидів оксидів є промисловості, які займаються тваринництвом, зберіганням та переробкою гною, включаючи й процес внесення його в ґрунт. Закис азоту сприяє деструкції стратосферного озонового шару, який захищає живі істоти від шкідливого ультрафіолетового випромінювання сонця [5, 58]. Непрямим джерелом потенційного парникового газу – закису азоту є аміак, який виділяється переважно під час утворення гною на полях, при зберіганні його у лагунах і внесенні на поля. Осідає цей газ в поверхневих водах, що може спричинити їх евтрофікацію. Викиди аміаку

призводять до кислотних дощів, які пошкоджують посіви і природні екосистеми, викликають підкислення ґрунтів, знижують вміст азоту, а отже, й цінність гною як добрива. Емісія аміаку пов'язана з формуванням аерозолів, що можуть створити небезпеку для здоров'я людей [28, 58]. Одним із найтоксичніших з неприємним запахом газів вважається такий забруднювач повітря, як сірководень. Він утворюється за рахунок бактеріального відновлення сульфату та розкладання сірковмісних органічних сполук у гної. Сірководень є одним із факторів виникнення кислотних дощів, а відтак, і зміни клімату [28]. Згідно з даними Європейського Союзу, більше 80 % аміаку, що забруднює атмосферу і 10 % метану, який руйнує озоновий шар, надходить із гною при несвоєчасному їх закладанні у ґрунт та під час зберігання у відкритих сховищах (лагунах) [63].

За останніми даними, концентрація парникових газів у атмосфері значно зросла. Зокрема, кількість вуглекислого газу збільшилася в середньому на понад 40 %, що є найбільшим рівнем за останні 650 тис. років, тоді як концентрація метану, відповідно з доіндустріальним періодом, підвищилася у 2,4 рази, а закису азоту – на 20 % [36, 48, 52]. Аналіз літературних джерел свідчить, що в повітрі щорічно зростає кількість метану на 1,2–1,5 %, а рівень N_2O – підвищується на 0,3 %, а інші гази – на 4 %. Таким чином, в цілому до середини XXI сторіччя парниковий вплив CH_4 і N_2O може бути рівним ефекту подвоєння концентрації CO_2 в атмосфері [28]. У секторі сільського, лісового й рибного господарства, за даними Food and Agriculture Organization of the United Nations, емісія парникових газів впродовж останніх 50 років підвищилася в два рази [57]. Прогнозується, що обсяги викидів основних парникових газів до 2030 р., за умови неприйняття низки заходів щодо покращення ситуації збільшаться на 25–90 %, відносно показників 2000 р. [48, 51, 52].

Аналізуючи літературні джерела виявлено, що молодняк великої рогатої худоби впродовж 15 місяців вирощування набирає до 500 кг ваги і одночасно забезпечує викиди в атмосферу кількості CH_4 , яка еквівалентна, з точки зору парникового ефекту, 75 тис. км пробігу середнього автомобіля, що є в 5 разів більше, як проїжджає машина за цей період часу [4]. Експериментальні дослідження

свідчать, що з підприємства по вирощуванню та відгодівлі великої рогатої худоби з кількістю 10 тис. голів за добу в атмосферу, водночас з вентиляційним викидами, надходить більше ніж 60 мг аміаку, а неприємний запах поширюється від даного комплексу на 3 км [22]. Аналіз джерел інформації свідчить, що комплекс великої рогатої худоби на 35 тис. голів забруднює довкілля рівноцінно промислового центру з чисельністю людей – 400–500 тис. [27, 31]. Відповідно з даними Національного кадастру антропогенних викидів парникових газів, друге місце за обсягами утворення парникових газів в Україні належить екскрементам тварин: свинарство – 46 %, скотарство – 30 %, птахівництво – 20 %, а на інші види тварин припадає 4 % викидів [13]. Літературні дані свідчать, що виробництво яловичини обумовлює утворення в 4 рази більше парникових газів, порівняно з еквівалентною кількістю свинини, і в 5 разів більше, ніж еквівалентна кількість м'яса птиці. Однак відомо, що виробництво молочних продуктів у 3–4 рази вигідніше, ніж у інших виробничих системах тваринництва [24, 25]. Відомо, що викиди парникових газів на 100 г тваринницької продукції становлять, відповідно: для яловичини – 105 кг, свинини – 14 кг, курятини – 12 кг, баранини – 27 кг, а виробництво 1 літри молока генерує 26 кг [9]. Масштаби викидів парникових газів є надзвичайно великими особливо при веденні скотарства, оскільки 20 найбільших світових м'ясо-молочних компаній утворюють більше парникових газів, ніж уся Німеччина [67, 72]. Викиди метану від великої рогатої худоби становлять близько 90 млн тонн на рік або приблизно 16 % річних світових викидів цього парникового газу [39, 65]. Отже, функціонування сільськогосподарських підприємств обумовлює забруднення довкілля внаслідок викидів газоподібних аерополітантів із витяжною вентиляцією, а відтак – ґрунтів, водних джерел і зменшення ефективності ведення галузі та її конкурентоспроможності.

Розширення виробничих потужностей сільськогосподарських підприємств для насичення вітчизняного ринку продукцією сприяє високій концентрації поголів'я тварин, що порушує умови їх утримання [3, 15, 42]. Ефективність ведення галузі тваринництва в середньому на 25–30 % забезпечується умовами утримання, які слугують другим після годівлі фактором і є основою підвищення рівня

продуктивності та опірності організму тварин до захворювань різної етіології [6, 15, 38]. Аналіз ряду вітчизняних й зарубіжних джерел літератури свідчить, що умовам вирощування належить вагоме місце у повноцінному рості, розвитку й функціонуванні організму і якості одержаної продукції [6, 10, 20]. Таким чином, оптимальні параметри мікроклімату безпосередньо впливають на економічні показники виробництва продукції, тобто ефективність кожного конкретного підприємства. Мікроклімат тваринницьких приміщень формується цілим комплексом факторів, серед яких водночас із параметрами фізичного характеру – температура, вологість тощо, вагоме місце займає склад повітряного середовища, а зокрема – концентрація в ньому шкідливих газів – аміаку, сірководню, вуглекислого газу тощо [6, 12, 14, 15, 26]. Останні утворюються у повітрі приміщення тварин, як від них самих, так і внаслідок розкладання побічних продуктів тваринного походження, тобто відходів [39, 40, 57].

Серед галузей тваринництва при веденні скотарства утворюється 44 % гною, тобто найбільша його кількість, а свинарство відповідає за нагромадження – 39 %, тоді як птахівництву належить 17 % відходів [37, 40]. Зокрема, одержання 1 літри молока (за рівня продуктивності 5 тис л на рік) забезпечує накопичення 4 кг гною, а 1 кг яловичини – 30 кг відходів (за приростів 1 кг на добу) [9]. Враховуючи наведене, діяльність сільськогосподарських підприємств, а зокрема, високий рівень інтенсифікації галузі тваринництва невід’ємно пов’язані з забрудненням довкілля, водних ресурсів та ґрунтів, а таким чином сприяють виникненню низки проблем [39, 34, 57]. У ринкових умовах аграрії перш за все прагнуть до одержання максимального прибутку, однак не зважають на забруднення та погіршення стану навколишнього природного середовища [27, 34]. Наукові праці та аналіз джерел літератури свідчить, що порушення показників мікроклімату в приміщеннях тварин обумовлює нижчий рівень надоїв молока в середньому – на 10–20 % й приростів живої маси – на 20–35 % за одночасного зростання відходу молодняку – на 5–40 %, скорочення терміну використання обладнання, машин і самих будівель, збільшення кількості кормів на одиницю продукції та витрат на ремонт технологічного обладнання [14, 15, 20]. Накопичення у приміщенні шкідливих газів за високої

вологості може викликати у тварин, зокрема, у молодняку – хвороби органів дихання і травлення, а лікування їх є дорогим і впливає на якість продукції, а у дорослих тварин у таких умовах частіше спостерігаються мастити. Отже, запобігання захворюваності безпосередньо пов'язане із забезпеченням санітарно-гігієнічних умов утримання сільськогосподарських тварин [2, 38, 45]. Відхилення параметрів мікроклімату в приміщеннях для утримання тварин також негативно впливає і на здоров'я й продуктивність праці людей [2, 10, 15, 64].

Забезпечення нижчого рівня аміаку, сірководню та парникових газів при веденні галузі скотарства має як екологічне, так і економічне значення [53, 54, 82, 86]. У зв'язку із цим, низка науковців присвятила свої дослідження розв'язанню даного питання. При веденні галузі скотарства підстилкою в основному слугують солома злакових культур, торф та тирса, однак вони не забезпечують оптимальних параметрів мікроклімату. Федяй (2014) для поглинання аміаку та забезпечення необхідного повітрообміну у приміщеннях великої рогатої худоби використовував гумові килимки, однак це потребує додаткових капітальних та експлуатаційних витрат на спорудження і роботи системи загально-обмінної вентиляції корівника [50]. Також слід відмітити, що вентиляція допомагає видаляти шкідливі гази, вологу й запахи з приміщення, однак при цьому може сприяти викидам забруднюючих речовин в атмосферу. У експериментальних дослідженнях для покращення параметрів мікроклімату в скотарстві застосовували ультрафіолетове випромінювання, яке характеризується низькою надійністю і ефективністю внаслідок запилення ламп [41].

На сьогодні більшість досліджень спрямована на зниження рівня аміаку, дещо рідше інших газів при веденні галузі тваринництва, і скотарства зокрема, оскільки його викиди безпосередньо пов'язані із підкисленням ґрунтів, евтрофікацією наземних та водних екосистем, утворенням твердих частинок в атмосфері, а відкладення цього газу в ґрунті, воді та повітрі може мати негативні наслідки, як для біорізноманіття рослин, здоров'я людини й екосистеми [60, 66, 76, 77, 89]. Зокрема, у приміщеннях для утримання корів з природною вентиляцією позитивний вплив на зменшення рівня аміаку забезпечував інгібітор уреаза [83], що узгоджується із

дослідженнями у лабораторних умовах [84]. У модельних експериментах доведено ефективність біовугілля та суміші бентоніту із цеолітом на зниження викидів аміаку з гною великої рогатої худоби [88, 90]. Підтвердженням, що сорбенти володіють потенціалом скорочення викидів аміаку є дослідження проведені на фермах для дійних корів при додаванні галунів або цеоліту [75]. Також встановлено позитивний вплив використання кукурудзяних качанів, легкого керамзитового заповнювача, молочної кислоти для зменшення викидів аміаку з гною при веденні галузі молочного скотарства, а найкращі результати одержано у варіанті із кукурудзяними качанами [81]. Широкого поширення набуло використання кислот, зокрема сірчаної, для зменшення викидів переважно аміаку, дещо рідше метану, закису азоту тощо з відходів ВРХ, що відбувається за рахунок підкислення гною, тобто зниження рН, однак їх використання є небезпечним [70, 77, 85, 91]. Дослідження Seppeler et al., (2020) свідчать, що придатними адсорбентами для фіксації аміаку в сільському господарстві слугують також таніни і продукти на їх основі [78]. Chen et al. (2015) повідомили про скорочення викидів аміаку шляхом застосування лігніту [55]. Отже, слід відмітити, що дослідження в основному присвячені зменшенню рівня лише окремого газу при веденні галузі скотарства, не достатньо уваги приділяється зменшенню викидів інших шкідливих газів – сірководню, метану, оксиду азоту тощо, а останні – володіють високим потенціалом глобального потепління.

Підсумовуючи наведене слід зазначити безпосередній і очевидний вплив тваринництва й скотарства на кліматичні зміни. Таким чином, зменшення рівня забруднення навколишнього середовища шкідливими газами від продуктів життєдіяльності худоби за рахунок застосування ефективних засобів має важливе наукове та практичне значення, що дозволить використовувати потенціал сільського господарства в мінімізації наслідків глобального потепління та дасть можливість забезпечити збереження чистоти навколишнього середовища для майбутніх поколінь.

2. НАУКОВО-ПРАКТИЧНІ ЗАСАДИ ЩОДО ВИКОРИСТАННЯ РЕЧОВИН ДЛЯ МІНІМІЗАЦІЇ ЕМІСІЇ ШКІДЛИВИХ ГАЗІВ ІЗ ГНОЮ ХУДОБИ

Одним із актуальних способів зниження емісії шкідливих газів з побічної продукції тваринного походження є пошук ефективних засобів та впровадження способів, які б забезпечили мінімізацію негативних впливів і наслідків галузі тваринництва, а зокрема, скотарства, на навколишнє природне середовище.

Для вирішення вищевказаних завдань проведено дослідження з встановлення емісії шкідливих газів (CH_4 , NH_3 , H_2S , CO_2 , NO) з гною великої рогатої худоби при його зберіганні в лагунах (сховищах) за впливу неорганічних та біологічно активних речовин. Рівень викидів досліджуваних шкідливих газів визначали за допомогою переносного сигналізатора – аналізатора газів – Дозор С-М-5 (свідоцтво про повірку законодавчо регульованого засобу вимірювальної техніки № 84709/92 і сертифікат відповідності № UA.TR.002.CB.1234-19) за загальноприйнятими методиками [11, 33]. У процесі проведення експерименту здійснювали контроль за кислотністю гною з використанням приладу рН-Метр Тур N5170.

На основі аналізу даних, одержаних у попередніх дослідженнях (*in vitro*) встановлено оптимальні ефективні дози неорганічних й біологічно активних речовин. З урахуванням цінової доступності та екологічної безпеки для забезпечення нижчої емісії шкідливих газів з гною великої рогатої худоби при зберіганні у лагунах (сховищах) було вибрано такі досліджувані речовини:

- неорганічні – природні сорбенти: сапоніт та перліт – 3 %;
- біологічно активні – біодеструктори: Комплезим С і Скарабей, 20 г/м³.

Характеристика досліджуваних неорганічних та біологічно активних речовин:

❖ Сапоніт (АТОВ «Велес») – природний мінерал, водний алюмосилікат магнію з підкласу шаруватих силікатів, групи монтморилоніту. Він володіє високими адсорбційними, іонообмінними, каталітичними та фільтраційними властивостями. Природний мінерал сапоніт із формулою – $\text{NaMg}_3 \times [\text{AlSi}_3 \times \text{O}_{10}] (\text{OH})_2 \times 4\text{H}_2\text{O}$, має такий хімічний склад, %: SiO_2 – 42,2–54,6, TiO_2 – 1,1–1,85, MgO – 7,0–13,4, Al_2O_3 – 12,2–15,0, Fe_2O_3 – 10,1–15,4, FeO – 0,72–1,3, Mn_2O_7 – 0,11–0,33,

CaO – 1,0–10,6, Na₂O – 0,1–1,0, K₂O – 0,19–2,9, P₂O₅ – 0,08–0,24, CO₂ – 0,56–0,74, H₂O – 7,36–7,79;

❖ Перліт (ТОВ «НВП "Укрвермикуліт"») – природний мінерал, кисле водовмісне «вулканічне скло», здатний увібрати масу рідини до 400 % власної ваги і утримувати її. Основні компоненти перліту, %: SiO₂ – 70–75, Al₂O₃ – 12–14, K₂O – 3–5, Na₂O – 3–5, Fe₂O₃ – близько 1, FeO – 0,4–1,5, TiO₂ – 0,1–0,5, CaO – 0,5–1,5, H₂O – 2–5;

❖ Біодеструктор Комплезим С (ДП «Ензим», ТУ У 20.1-32813696-026:2012) одержаний шляхом глибинного культивування асоціацій бактерій *Bacillus Subtilis* й *Bacillus Licheniformis* з додаванням поживних речовин та мінералів;

❖ Біодеструктор Скарабей (ПрАТ «ВНП "Укрзооветпромпостач"», ТУ У 20.1-23524007-097:2014) представлений композицією з 3 штамів високоактивних бактерій – *Bacillus amylolique faciens* BS-18 IMB B-7470, *Cellulomonas flavigena* C-53 IMB B-7473, *Rhodotorula glutinis* КР Ж-1 IMB Y-5056, носій – кукурудзяна крупа в поєднанні із пшеничною.

Аналіз одержаних результатів у процесі проведення експерименту свідчить, що найефективніший вплив на зменшення рівня емісії шкідливих газів – CH₄, NH₃, H₂S, CO₂, NO при застосуванні неорганічних (сапоніту та перліту) та біологічно активних (Комплезим С та Скарабей) речовин з гною великої рогатої худоби під час зберігання його у лагунах (сховищах) спостерігався на сьому добу. Ефективна дія на зниження рівня аміаку, вуглекислого газу, метану, оксиду азоту та сірководню з гною корів у лагунах (сховищах) за використання досліджуваних речовин зберігалася приблизно на одному рівні впродовж 3 тижнів з подальшим поступовим зменшення їх дії до 31 доби досліджень.

На основі проведених досліджень встановлено, що застосування сапоніту обумовлює зменшення викидів NH₃ (рис. 1) з гною великої рогатої худоби під час зберігання у лагунах (сховищах), в залежності від доби, відповідно: у 1 добу – на 24,1 % (P<0,01), 7 добу – 28,6 % (P<0,01), а в 31 добу – на 13,9 %. Одержані експериментальні дані свідчать про ефективну дію на зниження рівня виділення аміаку з гною корів у лагунах (сховищах), природного сорбенту – перліту, залежно

від періоду експерименту: на 21,3 % ($P<0,05$) – 1 доба, 23,1 % ($P<0,05$) – 7 доба, на 9,6 % – 31 доба.

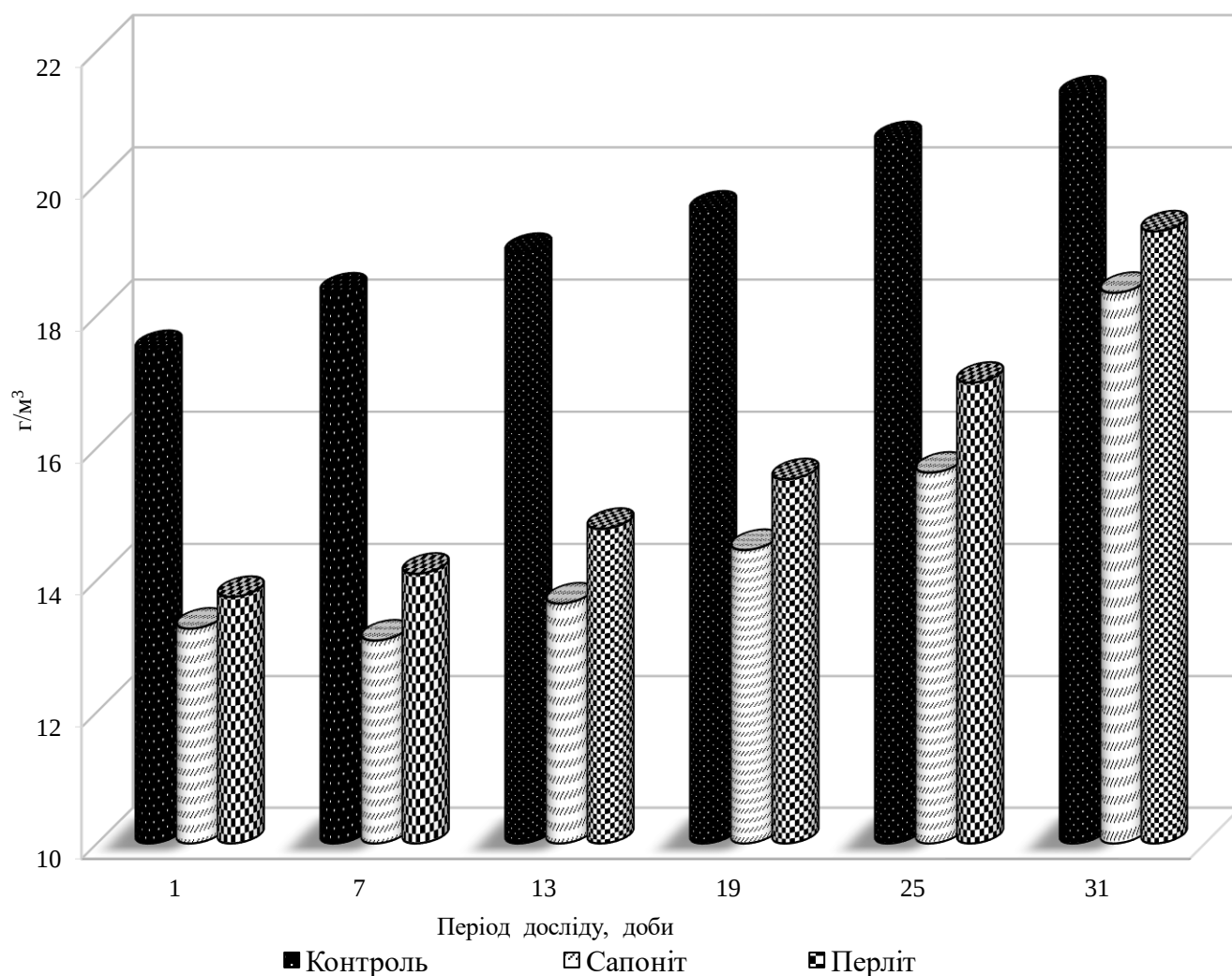


Рисунок 1 – Вплив неорганічних речовин на рівень емісії NH_3 з гною худоби при зберіганні у лагунах (сховищах), г/м³

Згідно з результатами досліджень виявлено, що додавання сорбенту сапоніту зменшує викиди CO_2 (рис. 2) з гною великої рогатої худоби при зберіганні його у лагунах (сховищах), в залежності від доби експерименту – 1, 7 та 31 доби, відповідно – на 14,3 % ($P<0,05$), 23,6 ($P<0,01$) та 7,8 % ($P<0,05$). При застосуванні перліту відбувається зниження виділення вуглекислого газу з гною корів у лагунах (сховищах), відповідно: на 11,8 % – 1 доба ($P<0,05$), 18,8 % – 7 доба ($P<0,05$), на 6,5 % – 31 доба.

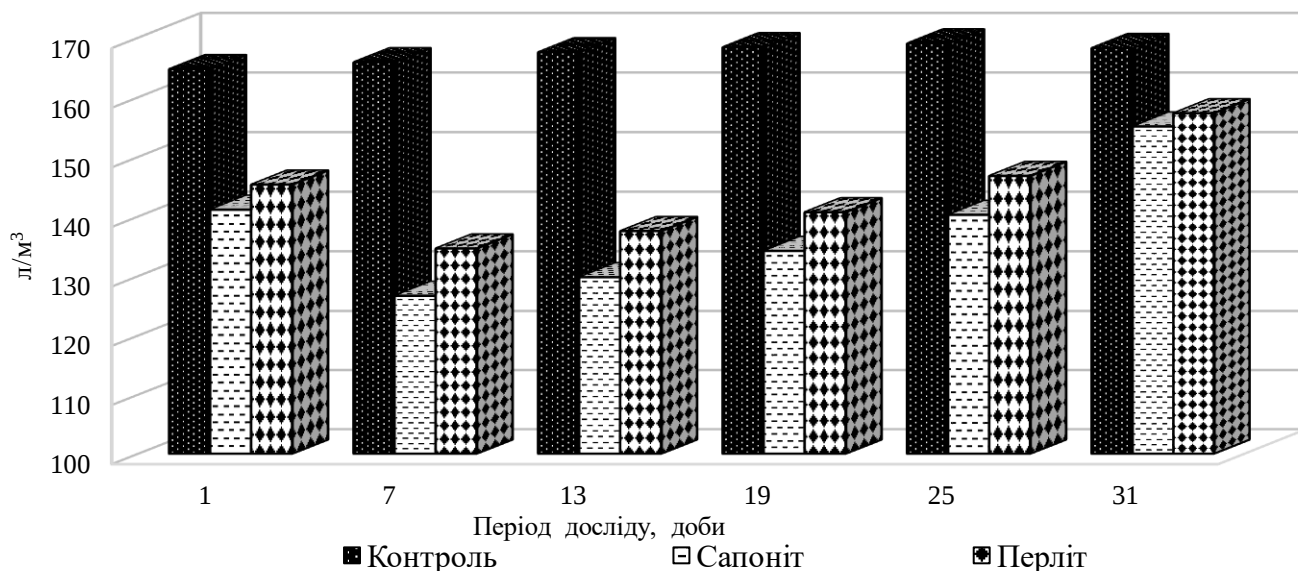


Рисунок 2 – Вплив неорганічних речовин на рівень емісії CO₂ з гною худоби при зберіганні у лагунах (сховищах), л/м³

Результати досліджень показують, що при додаванні сапоніту відбувається зменшення викидів CH₄ (рис. 3) з гною великої рогатої худоби під час його зберігання у лагунах (сховищах), в залежності від терміну досліджуваного періоду: у 1 добу – на 24,7 % (P<0,05), 7 добу – 27,9 % (P<0,05), а в 31 добу – на 9,9 % (P<0,05). Перліт давав змогу скоротити виділення метану з гною корів у лагунах (сховищах), залежно від доби дослідження, відповідно: на 22,2 % (P<0,05) – 1 доба, 23,8 % (P<0,05) – 7 доба, на 7,4 % – 31 доба.

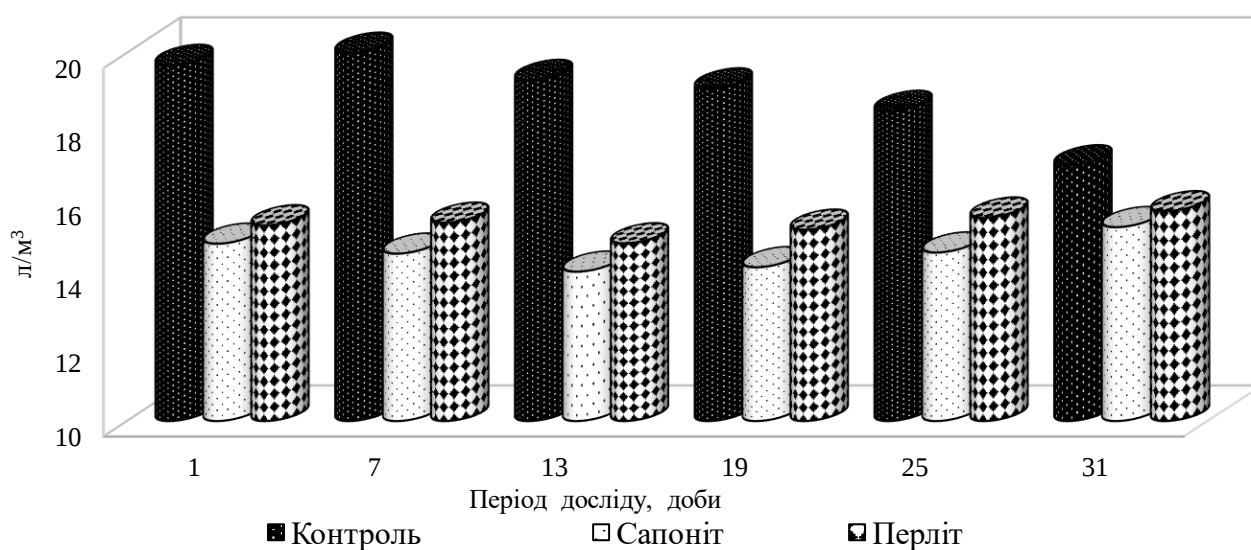


Рисунок 3 – Вплив неорганічних речовин на рівень емісії CH₄ з гною худоби при зберіганні у лагунах (сховищах), л/м³

Аналіз одержаних даних свідчить, що сапоніт зменшує емісію NO (рис. 4) з гною великої рогатої худоби при зберіганні його у лагунах (сховищах), відповідно: у 1 добу – на 23,1 % ($P<0,05$), 7 добу – 32,1 % ($P<0,01$), а в 31 добу – на 13,5 % ($P<0,05$). При додаванні перліту відбувалося зниження виділення оксиду азоту з гною корів у лагунах (сховищах) – на 16,5 % ($P<0,05$), 24,1 ($P<0,05$) і 11,4 % – залежно від терміну досліджуваного періоду – 1, 7 та 31 доби.

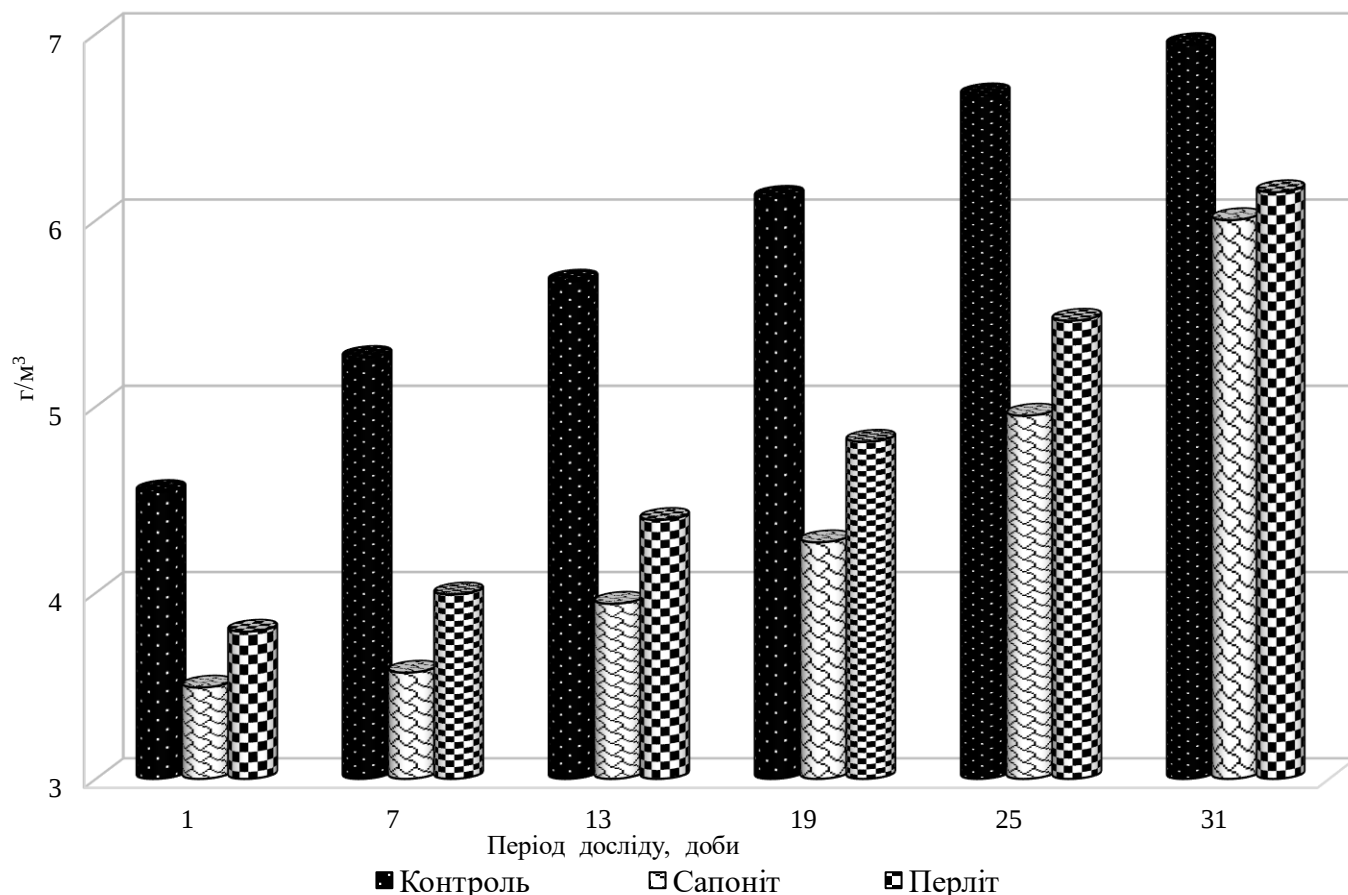


Рисунок 4 – Вплив неорганічних речовин на рівень емісії NO з гною худоби при зберіганні у лагунах (сховищах), г/м³

У процесі проведення експерименту встановлено, що застосування сапоніту сприяє зниженню рівня емісії сірководню (рис. 5) з гною великої рогатої худоби під час зберігання його у лагунах (сховищах), а саме: на 32,7 % ($P<0,01$) – 1 доба, 36,9 % ($P<0,01$) – 7 доба, на 14,2 % ($P<0,05$) – 31 доба. Перліт обумовлював зменшення H_2S з гною корів у лагунах (сховищах), залежно від терміну досліджуваного періоду – 1, 7 та 31 доби, відповідно – на 23,3 % ($P<0,05$), 26,5 ($P<0,05$) і 12,6 %.

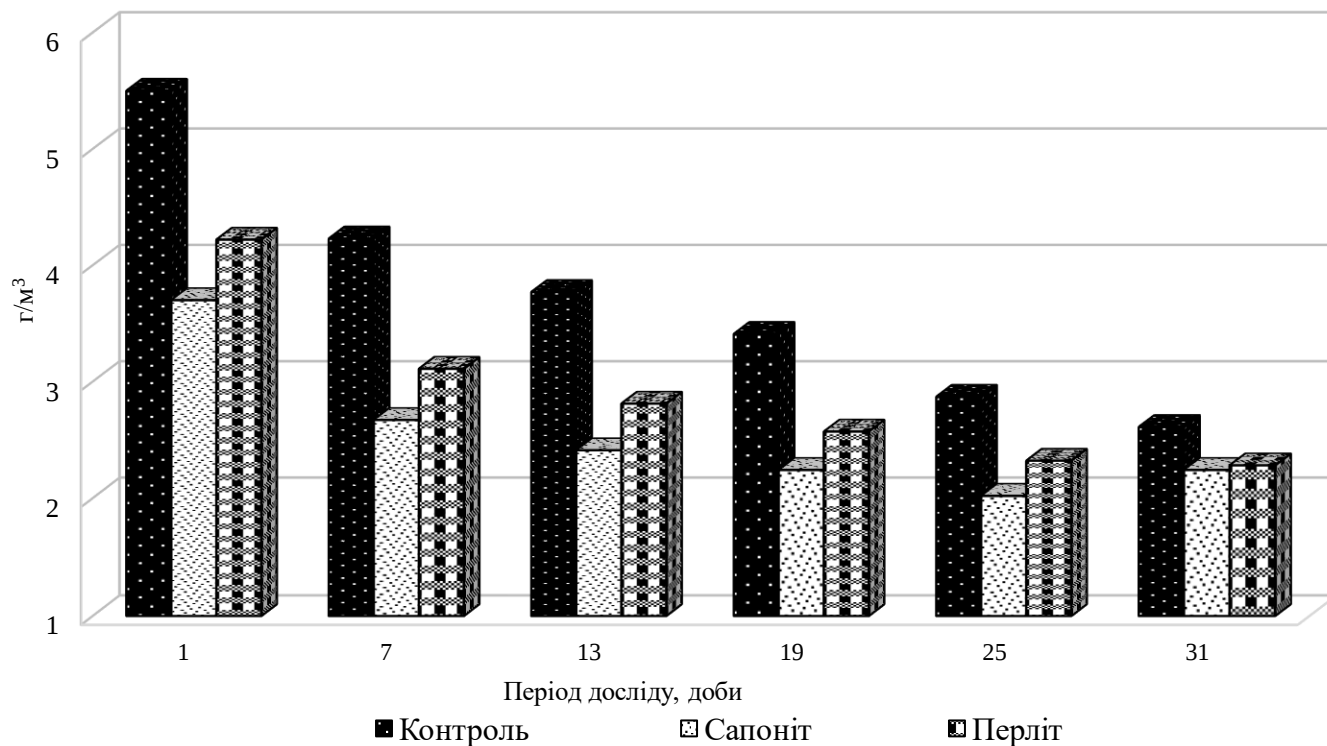


Рисунок 5 – Вплив неорганічних речовин на рівень емісії H_2S з гною худоби при зберіганні у лагунах (сховищах), г/м³

Водночас із позитивним впливом зазначених вище неорганічних речовин, а саме: природних сорбентів – сапоніту і перліту на зменшення рівня досліджуваних шкідливих газів – CH_4 , NH_3 , H_2S , CO_2 , NO з гною худоби у лагунах (сховищах) ефективною дією також володіють і біологічно активні речовини: біодеструктори – Комплезим С й Скарабей.

Аналізуючи результати досліджень слід відмітити, що при внесенні у гній великої рогатої худоби під час зберігання у лагунах (сховищах) біодеструктора Комплезим С спостерігається зменшення викидів аміаку (рис. 6), в залежності від доби, відповідно: у 1 добу – на 32,9 % ($P < 0,01$), 7 добу – 37,7 % ($P < 0,01$), а в 31 добу – на 16,4 % ($P < 0,05$). Використання біодеструктора Скарабей сприяє нижчому рівню емісії NH_3 з відходів корів у лагунах (сховищах), залежно від терміну досліджуваного періоду, відповідно – на 23,7 % ($P < 0,05$) – 1 доба, на 26,1 % ($P < 0,05$) – 7 доба та на 11,2 % – у 31 доба досліджень.

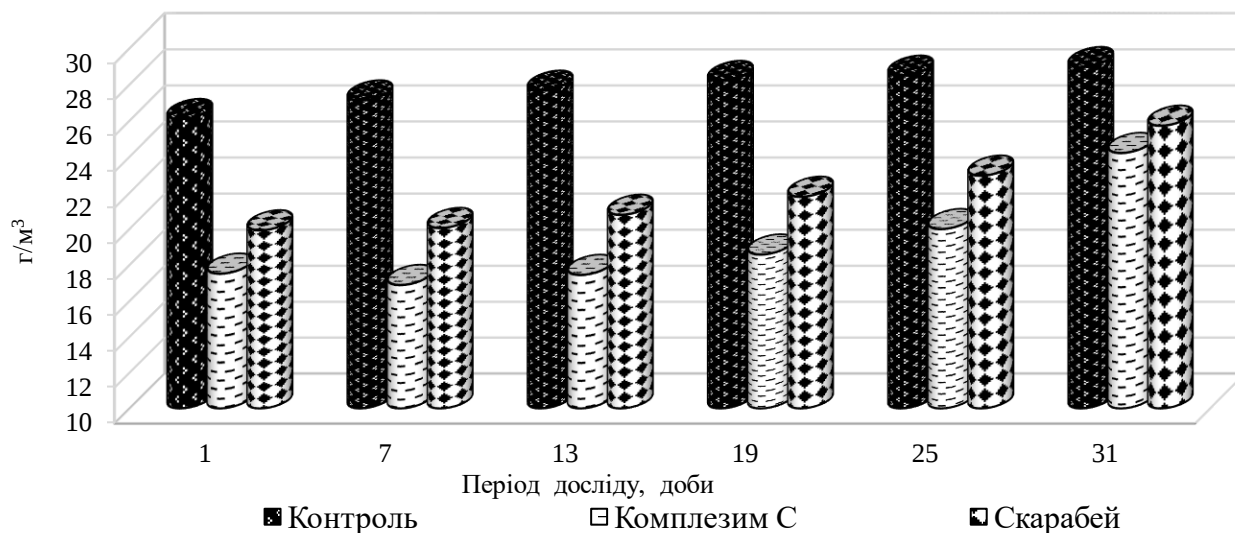


Рисунок 6 – Вплив біологічно активних речовин на рівень емісії NH_3 з гною худоби при зберіганні у лагунах (сховищах), г/м³

Експериментальні дослідження підтверджують ефективну дію біодеструктора Комплезим С на зменшення викидів вуглекислого газу (рис. 7) з відходів великої рогатої худоби при зберіганні їх у лагунах (сховищах), в залежності від періоду дослідження – 1, 7 і 31 доби, відповідно – на 24,1 % ($P < 0,05$), на 29,1 % ($P < 0,01$) й на 10,7 %. Біодеструктор Скарабей забезпечує нижчий рівень емісії CO_2 з гною худоби у лагунах (сховищах), залежно від доби експерименту, відповідно: у 1 добу – на 18,1 % ($P < 0,05$), 7 добу – 22,0 % ($P < 0,05$), а в 31 добу – на 6,8 %.

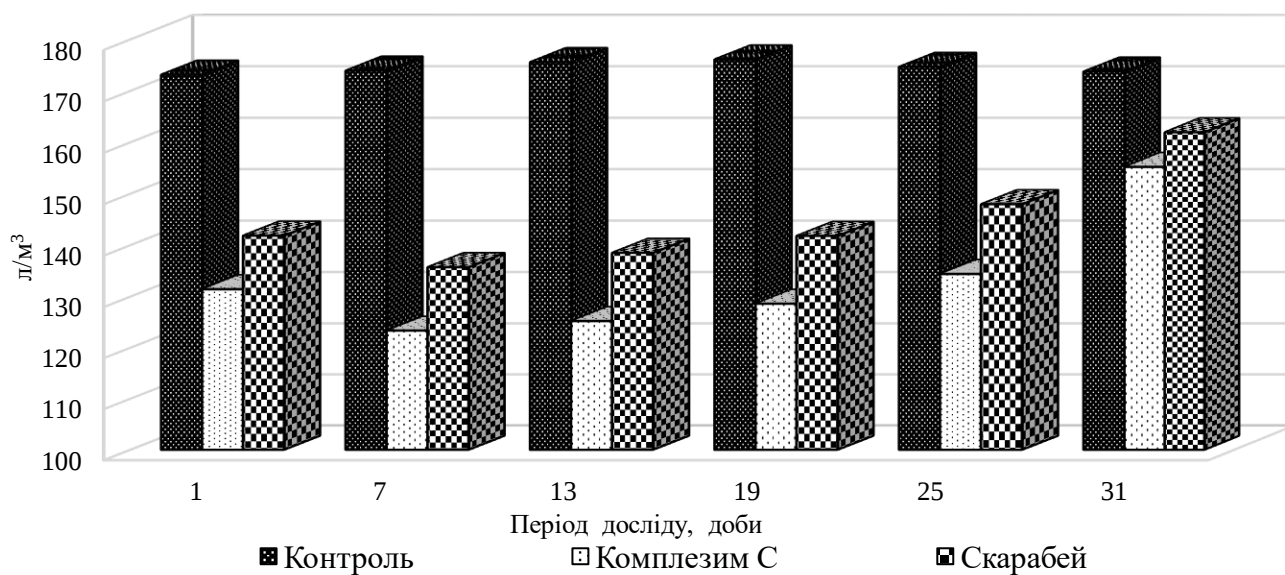


Рисунок 7 – Вплив біологічно активних речовин на рівень емісії CO_2 з гною худоби при зберіганні у лагунах (сховищах), л/м³

Найкращі результати щодо зменшення рівня емісії метану (рис. 8) з гною великої рогатої худоби у лагунах (сховищах) одержано за внесення біодеструктора Комплезим С, відповідно – на 25,6 % ($P<0,05$) – 1 доба, на 29,7 % ($P<0,01$) – 7 доба та на 12,3 % – 31 доба експерименту. Рівень виділення CH_4 з відходів корів під час зберігання їх у лагунах (сховищах) є нижчим за додавання біодеструктора Скарабей, в залежності від терміну досліджуваного періоду – 1, 7 і 31 доби, відповідно – на 18,5 %, на 21,2 % ($P<0,05$) й на 7,0 %.

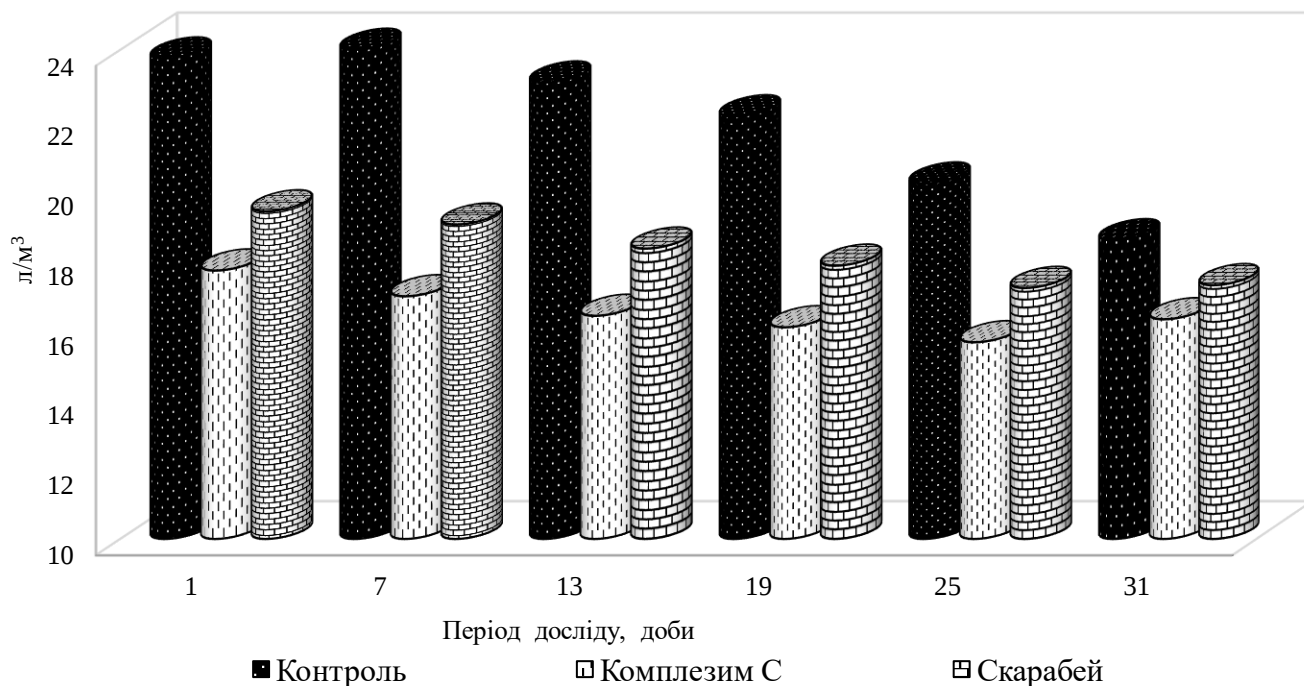


Рисунок 8 – Вплив біологічно активних речовин на рівень емісії CH_4 з гною худоби при зберіганні у лагунах (сховищах), л/м^3

На основі проведених досліджень встановлено, що за використання біодеструктора Комплезим С відбувається зменшення викидів оксиду азоту (рис. 9) з гною великої рогатої худоби при зберіганні його у лагунах (сховищах), залежно від доби експерименту (1–31 доби), відповідно: у 1 добу – на 34,4 % ($P<0,05$), 7 добу – 39,5 % ($P<0,01$), а в 31 добу – на 17,0 % ($P<0,05$). Дещо нижчу дію одержано при внесенні біодеструктора Скарабей у відходи корів у лагунах (сховищах). Різниця відносно контролю NO становила 22,6 % ($P<0,05$), 29,2 % ($P<0,01$) та 12,4 % ($P<0,05$), в залежності від терміну досліджуваного періоду – 1, 7 і 31 доби.

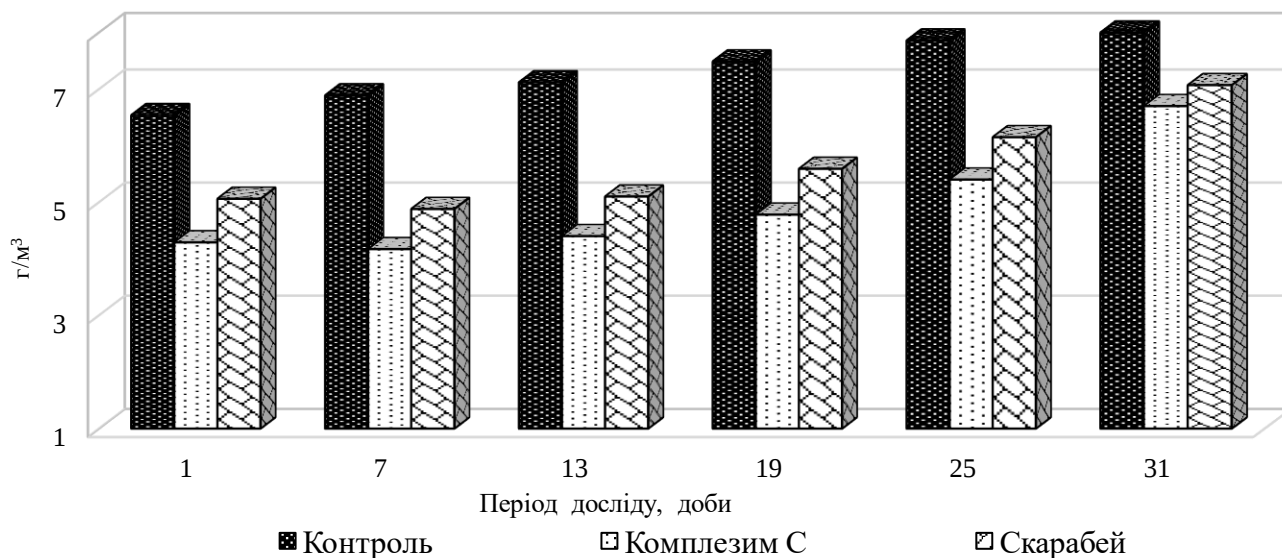


Рисунок 9 – Вплив біологічно активних речовин на рівень емісії NO_3 з гною худоби при зберіганні у лагунах (сховищах), г/м³

Аналіз результатів досліджень свідчить про ефективну дію біодеструктора Комплезим С на зниження виділення сірководню (рис. 10) з відходів великої рогатої худоби під час зберігання їх у лагунах (сховищах), відповідно: на 35,0 % ($P < 0,05$) – 1 доба, на 39,8 % ($P < 0,01$) – 7 доба і на 15,9 % ($P < 0,05$) – 31 доба експерименту. Рівень емісії H_2S за внесення біодеструктора Скарабей у гній корів у лагунах (сховищах) зменшується, залежно від доби дослідження – 1, 7 і 31 доби, відповідно – на 28,5 % ($P < 0,05$), на 32,8 % ($P < 0,05$) й на 13,2 % ($P < 0,05$).

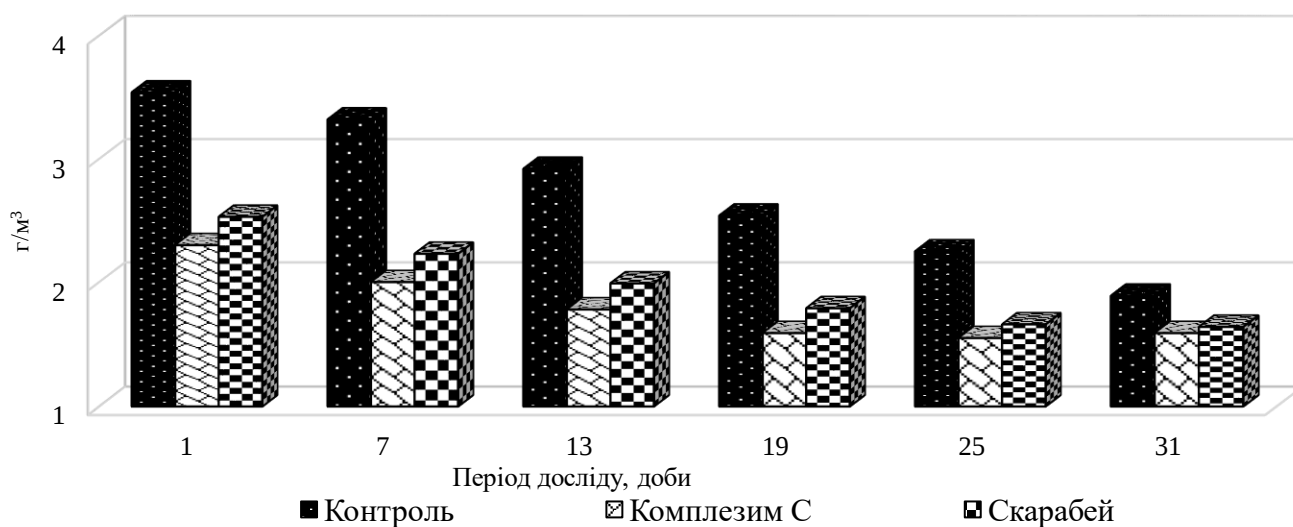


Рисунок 10 – Вплив біологічно активних речовин на рівень емісії H_2S з гною худоби при зберіганні у лагунах (сховищах), г/м³

На основі проведених досліджень виявлено, що за використання неорганічних та біологічно активних речовин, одночасно із зниженням рівня емісії досліджуваних шкідливих газів – CH_4 , NH_3 , H_2S , CO_2 , NO з гною худоби при його зберіганні у лагунах (сховищах) відбувається зменшення показника рН досліджуваного субстрату. Зміщення рівня рН гною худоби під час зберігання його в лагунах (сховищах) у кислу сторону вказує на пригнічення життєдіяльності мікроорганізмів, а отже, і процесів ферментації внаслідок вищої концентрації іонів H^+ . Аналізуючи одержані експериментальні дані слід відмітити, що ці ж досліджувані речовини, що забезпечували нижчий рівень рН і дали можливість в найбільшій мірі зменшити емісію шкідливих газів – CH_4 , NH_3 , H_2S , CO_2 , NO з гною корів за зберігання його у лагунах (сховищах). Зокрема, встановлено, що рН гною худоби в контролі було в межах – 6,45–6,82 (рис. 11), тоді як при застосуванні неорганічних речовин – сапоніту та перліту, відповідно – 6,02–6,37 і 6,17–6,45.

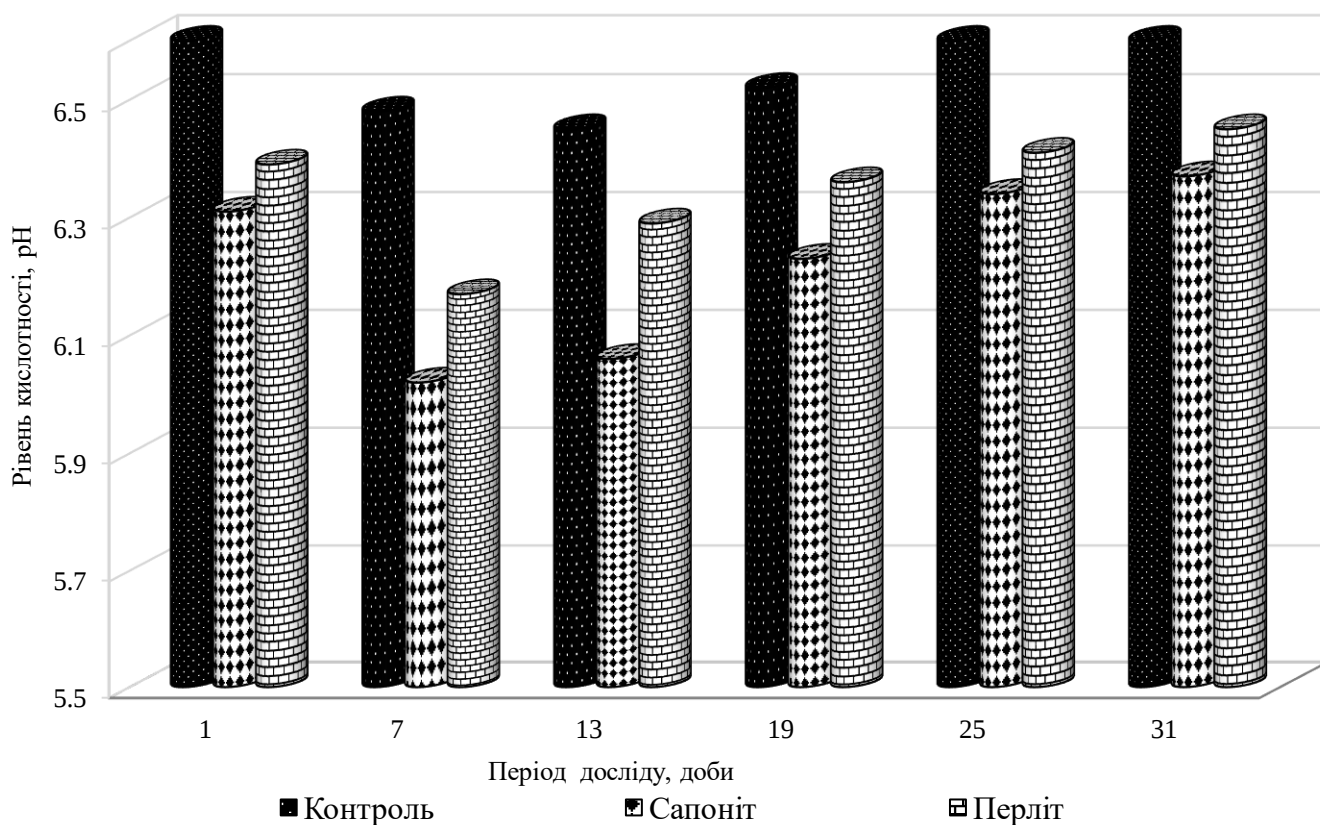


Рисунок 11 – Вплив неорганічних речовин на рівень рН гною худоби при зберіганні у лагунах (сховищах)

У процесі проведення експериментальних досліджень за використання досліджуваних біодеструкторів – Комплезим С та Скарабей відбувається і зменшення рівня рН гною великої рогатої худоби (рис. 12), відповідно, до 5,86–6,2 та 6,09–6,39 проти контролю – 6,49–6,94.

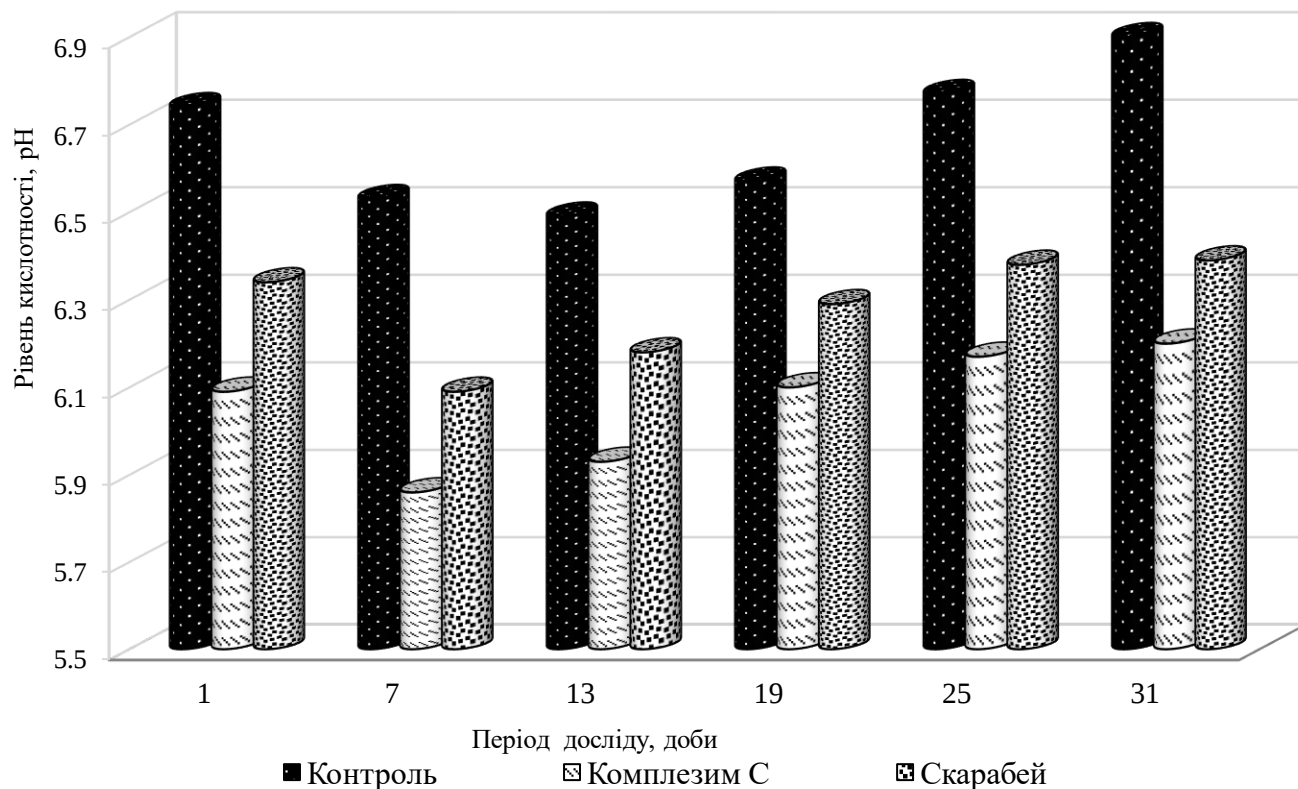


Рисунок 12 – Вплив біологічно активних речовин на рівень рН гною худоби при зберіганні у лагунах (сховищах)

Отже, підсумовуючи результати досліджень слід зазначити про позитивний вплив досліджуваних неорганічних та біологічно активних речовин на скорочення викидів шкідливих газів – CH_4 , NH_3 , H_2S , CO_2 , NO з органічних відходів худоби під час зберігання у лагунах (сховищах).

Експериментально встановлено, що сапоніт сприяє зменшенню рівня емісії шкідливих газів з гною великої рогатої худоби при зберіганні його у лагунах (сховищах) – на 23,6–36,9 % ($P < 0,05$ – $0,01$), перліт – 18,8–26,5 % ($P < 0,05$), Комплезим С – 29,1–39,8 % ($P < 0,05$ – $0,01$), а Скарабей – на 21,2–32,8 ($P < 0,05$ – $0,01$).

Порівняльна оцінка дії неорганічних речовин (сапоніту та перліту) свідчить про ефективніший вплив сапоніту на зниження викидів шкідливих газів – CH_4 , NH_3 ,

H₂S, CO₂, NO при зберіганні гною корів у лагунах (сховищах), відносно перліту – на 4,8–10,4 %. Із біологічно активних речовин (біодеструкторів – Комплезим С та Скарабей), найкращі результати щодо зменшення емісії досліджуваних газів з гною худоби у лагунах (сховищах) забезпечує Комплезим С, перевага його становить – 7,0–7,9 %, відносно біодеструктора Скарабей.

Водночас з позитивним впливом зазначених вище досліджуваних речовин на зниження викидів шкідливих газів з гною великої рогатої худоби під час зберігання його у лагунах (сховищах), найефективніший вплив одержано за використання біодеструктора Комплезим С. Зокрема, застосування даного біодеструктора обумовлює зменшення рівня емісії шкідливих газів – CH₄, NH₃, H₂S, CO₂, NO з гною худоби при зберіганні його у лагунах (сховищах), відповідно, на 37,7 % (P<0,01), 29,1 (P<0,01), 29,7 (P<0,01), 39,5 (P<0,01) і 39,7 % (P<0,01). Слід відмітити, що біодеструктор Комплезим С проявляє також і найбільш пролонговану дію на зменшення викидів досліджуваних газів із відходів великої рогатої худоби у лагунах (сховищах).

Отже, на основі проведених досліджень розроблено спосіб зниження рівня емісії шкідливих газів – CH₄, NH₃, H₂S, CO₂, NO з гною великої рогатої худоби при зберіганні його у лагунах (сховищах) за рахунок застосування біодеструктора Комплезим С у дозі 20 г/м³, що сприятиме запобіганню забруднення навколишнього природного середовища при веденні галузі скотарства.

ВИСНОВКИ

Встановлено ефективну дію використання неорганічних та біологічно активних речовин, а саме: природних сорбентів – сапоніту і перліту та біодеструкторів – Комплезим С й Скарабей на зменшення рівня емісії шкідливих газів – CH_4 , NH_3 , H_2S , CO_2 , NO при зберіганні гною великої рогатої худоби у лагунах (сховищах).

Найкращі результати щодо зниження викидів шкідливих газів – CH_4 , NH_3 , H_2S , CO_2 , NO під час зберігання гною великої рогатої худоби у лагунах (сховищах), із досліджуваних неорганічних речовин (сапоніту та перліту), проявляє сапоніт – на 23,6–36,9 % ($P < 0,05$ – $0,01$).

Порівняльна оцінка дії біологічно активних речовин (біодеструкторів – Комплезим С та Скарабей) свідчить про ефективніший вплив біодеструктора Комплезим С на зменшення рівня шкідливих газів – CH_4 , NH_3 , H_2S , CO_2 , NO – на 29,1–39,8 % ($P < 0,05$ – $0,01$) при зберіганні гною великої рогатої худоби у лагунах (сховищах).

Найнижчий рівень шкідливих газів – CH_4 , NH_3 , H_2S , CO_2 , NO за зберігання гною великої рогатої худоби у лагунах (сховищах) серед досліджуваних неорганічних (сапоніту і перліту) та біологічно активних (біодеструкторів – Комплезим С й Скарабей) речовин встановлено за використання біодеструктора Комплезим С.

Розроблено спосіб зниження емісії шкідливих газів – CH_4 , NH_3 , H_2S , CO_2 , NO з гною худоби за рахунок застосування біодеструктора Комплезим С у дозі 20 г/м³, що дасть змогу мінімізувати негативний вплив побічної продукції скотарства на навколишнє природне середовище, а відтак, підвищити рентабельність та конкурентоспроможність ведення галузі скотарства.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Антощенкова В. В. Сучасний стан молочного скотарства в Україні. *Український журнал прикладної економіки*. 2020. Вип. 5 (2). С. 25–32.
2. Бабінець Н. С. Вплив умов мікроклімату в тваринницьких приміщеннях на продуктивність тварин. *Студенський науковий вісник*. 2010. Вип. 2 (3), Ч. 4. С. 4–8.
3. Бей Р. В. Мікроклімат тваринницьких приміщень як центральна проблема гігієни сільськогосподарських тварин та механізації тваринництва. *Гілея: науковий вісник*. 2016. Вип. 105. С. 125–126.
4. Бінковська Г. В., Шаніна Т. П. Відходи тваринництва та птахівництва як перспективне джерело альтернативної енергії в Одеській області. *Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування*. 2013. № 1. С. 166–170.
5. Бінковська Г. В., Шаніна Т. П. Оцінка обсягів викидів парникових газів в системах поводження з сільськогосподарськими відходами Одеської області. *Вісник ХНУ імені В. Н. Каразіна*. 2016. Вип. 14. С. 91–97.
6. Болтянська Н. І., Болтянська Н. І., Непарко Т. А. Формування мікроклімату в приміщеннях для утримання великої рогатої худоби. Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасна інженерія агропромислових і харчових виробництв» (м. Харків, 25–26 листопада 2021 р.). Харків: ДБТУ, 2021. С. 472–475.
7. Бородай В. П., Пінчук В. О., Тертична О. В. Перспективні напрями екологічних досліджень у галузі тваринництва. *Агроекологічний журнал*. 2017. № 2. С. 44–48.
8. Брик М. М. Сучасний стан та перспективи розвитку галузі тваринництва в Україні. *Економічний аналіз*. 2018. Т. 28, № 4. С. 331–337.
9. Бузовський Є. А., Витвицька О. Д., Скрипниченко В. А. Нетрадиційні джерела енергії – вимоги часу. *Науковий вісник Національного аграрного університету України*. 2008. Вип. 119. С. 289–294.
10. Варпіховський Р. Л., Кучеренко О. М. Вплив мікроклімату приміщення та умов утримання телят у період вирощування до 8 місячного віку. *Таврійський науковий вісник*. 2022. № 124. С. 118–126.
11. Високос М. П., Чорний М. В., Захаренко М. О. Практикум для лабораторно-практичних занять з гігієни тварин. Харків: Еспада, 2003. 215 с.

12. Відомчі норми технологічного проектування. Скотарські підприємства (комплекси, ферми, малі ферми). ВНТП-АПК-01.05. К., Мінагрополітики, 2005. 111 с.

13. Вовк В. Ю. Екологічно безпечні технології переробки відходів сільського господарства для забезпечення енергетичної безпеки. Збірка матеріалів Національного форуму «Поводження з відходами в Україні: законодавство, економіка, технології» (м. Київ, 23–24 листопада 2021 р.) Київ, 2022. С. 148–154.

14. Войцицкий А. П., Молчан В. В. Роль мікроклімату в умовах ферм великої рогатої худоби. Матеріали II-ї Всеукраїнської наукової конференції «Ефективність агротехнологій в зоні Полісся України» (м. Житомир, 17–18 листопада 2022 р.). Житомир, 2022. С. 105–107.

15. Гаврильченко О. С., Хоружий Г. В. Аналіз сучасних систем кондиціонування повітря тваринницьких приміщень. Матеріали Всеукр. наук.-практ. конф. «Соціально-економічні проблеми аграрного розвитку регіонів» (м. Ніжин, 2018 р.). Ніжин, 2018. С. 83–87.

16. Герман В. В. Екологічна безпека при виробництві тваринницької продукції. *Агроекологічний журнал*. 2009. № 2. С. 5–8.

17. Дем'яненко С., Бутко В. Стратегія адаптації аграрних підприємств України до глобальних змін клімату. 2012. *Економіка України*. № 6. С. 66–72.

18. Демчук М. В., Решетник А. О., Лайтер-Москалюк С. В. Проблеми утилізації гною в сучасному тваринництві. *Наук. вісник ЛНУВМ та БТ імені С. З. Гжицького*. 2010. Т. 12, № 3 (4). С. 188–195.

19. Державний комітет статистики України [Електронний ресурс] / Офіційний сайт. URL: <http://ukrstat.gov.ua>. (дата звернення: 12.03.2025).

20. Дія озono-повітряної суміші на шкідливі гази / Я. Пушкар, Т. Пушкар, О. Решетніченко, І. Антонік *Аграрний вісник Причорномор'я*. 2022. Вип. 105. С. 68–72.

21. До питання розрахунку викидів парникових газів відходів тваринництва / М. О. Захаренко, В. О. Коваленко, О. С. Яремчук, Ю. В. Пироженко. *Біоресурси і природокористування*. 2014. Т. 6, № 3–4. С. 63–70.

22. Дубін О. М., Василенко О. В. Екологічна оцінка складу атмосферного повітря у зоні тваринницьких комплексів. *Збірник наукових праць Уманського національного університету садівництва*. 2014. Вип. 85. С. 20–25.

23. Ейфеел А., Гусятинська О., Сусол Р. Сучасний стан та перспективи розвитку галузі молочного скотарства в Україні. *Agrarian bulletin Black Sea littoral*. 2022. Issue 104–105. Р. 119–130.

24. Жукорський О. М., Никифорок О. В., Болтик Н. П. Емісія парникових газів від корів на фермах із виробництва молока. *Вісник аграрної науки*. 2015. № 5. С. 45–48.

25. Жукорський О. М., Никифорок О. В., Болтик Н. П. Оцінка викидів одорогенних забруднювачів повітря від ферм із виробництва молока. *Агроекологічний журнал*. 2015. № 2. С. 21–26.

26. Засєкін Д. А., Поляковський В. М. Санітарні норми для тваринницьких та переробних підприємств України. К.: ТОВ НВП ІНТЕРСЕРВІС, 2011. 220 с.

27. Захарченко О. В. Утилізація відходів природного походження аграрних формувань: проблемний аспект. *Вісник ХНАУ імені В. В. Докучаєва*. 2017. № 1. С. 58–67.

28. Корбич Н. М. Екологічні проблеми в тваринництві. Матеріали IV міжнародної науково-практичної конференції «Екологічні проблеми навколишнього середовища та раціонального природокористування в контексті сталого розвитку» (м. Херсон, 21–22 жовтня 2021 р.). Херсон, 2021. С. 143–146.

29. Ломовських Л. О. Аналіз ефективності молочного скотарства в Україні. *Вісник ХНАУ*. 2020. № 3. С. 445–454.

30. Лопатинський Ю., Галицький А. Екологічне аналізування сталого аграрного розвитку в умовах зміни клімату. *Економічний аналіз*. 2019. Т. 29. № 4. С. 35–41.

31. Максінко Л. М., Малик О. Г. Біологічна утилізація шкідливих парникових газів, які входять до складу біогазу, а також сірководню і аміаку у воді асоціацією біологічно корисних мікроорганізмів. *Науковий вісник ЛНУ ветеринарної медицини та біотехнологій імені С. З. Гжицького*. 2012. Т. 14, № 3. С. 353–361.

32. Мартенюк Г. М. Біоконверсія органічних відходів. Матеріали V Міжнар. наук.-практ. конф. «Органічне виробництво і продовольча безпека» (м. Житомир, 5–6 вер. 2017 р.). Житомир, 2017. С. 87–91.

33. Методичний посібник до проведення лабораторних занять з дисципліни "Гігієна тварин" для студ. ф-ту техн. вир. і перер. прод. твар. Спец. 6.090102-

Технологія виробництва і переробки продукції тваринництва. НУБІП; уклад. М. О. Захаренко [та ін.]. К.: ЦП "Компринт", 2014. 218 с.

34. Михайлов А. П. Сучасний стан та перспективи розвитку аграрного сектору економіки України. *Науковий вісник УМО*. 2016. № 1. Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/nvumo_2016_1_9

35. Михайлова Є. О. Викиди парникових газів в Україні та світі. Матеріали Всеукр. наук.-практ. конф. «Проблеми техногенно-екологічної безпеки : освіта, наука, практика» (м. Харків, 24 листопада 2016 р.). Харків, 2016. С. 183–184.

36. Омаров А. Е. Сучасний стан екологічної безпеки в Україні. *Вісник Національного університету цивільного захисту України*. 2017. № 2. С. 156–164.

37. Палапа Н. В., Пронь Н. Б., Устименко О. В. Промислове тваринництво : еколого-економічні наслідки. *Збалансоване природокористування*. 2016. № 3. С. 64–67.

38. Підвищення якості молока за рахунок формування мікроклімату на тваринницьких фермах / О. І. Шкромада та ін. *Вісник Сумського національного аграрного університету*. 2019. Вип. 4 (47). С. 43–48.

39. Пінчук В. О. Емісія парникових газів у галузі тваринництва України. *Біоресурси і природокористування*. 2015. Т. 7, № 1/2. С. 115–118.

40. Пінчук В. О., Бородай В. П. Емісія аміаку та парникових газів з побічної продукції тваринного походження. *Таврійський науковий вісник*. 2019. № 110, Ч. 2. С. 190–198.

41. Польова О. Л. Розвиток інноваційних процесів у галузі скотарства: монографія. Вінниця, 2013. 179 с.

42. Посібник з гігієни тварин та елементів проектування підприємств. В. М. Гончаренко та ін. Одеса: ТОВ «ВМВ», 2010. 208 с.

43. Симбірський А. І. Техніко-економічні показники розвитку сільськогосподарського виробництва та емісія парникових газів в Україні. *Проблеми загальної енергетики*. 2013. Вип. 3 (34). С. 60–65.

44. Скабаль В. І. Функціонування та тенденції розвитку галузей тваринництва в регіонах. *Економічний аналіз*. 2014. Вип. 18, № 3. С. 75–80.

45. Скляр І. О. Зоогігієнічні параметри мікроклімату приміщення та їх вплив на санітарний стан вим'я корів. *Вісник Сумського національного аграрного університету*. 2014. Вип. 6. С. 101–103.

46. Слюсар Г. М., Шулько О. П. Проблеми забруднення відходами тваринництва та шляхи їх вирішення. Наукові пошуки молоді у XXI столітті. *Екологізація виробництва та охорона природи як основа збалансованого розвитку: матеріали Всеукраїнської наук.-практ. конф. магістрантів і молодих дослідників* (м. Біла Церква, 16 листопада 2023 р.). Біла Церква: БНАУ, 2023. С. 30–31.

47. Тимощук О. А., Тимощук О. Б., Матвійчук Б. В. Викиди парникових газів від сільськогосподарської діяльності та їх динаміка протягом 1990–2020 років. *Український журнал природничих наук*. 2022. Вип. 1. С. 174–186.

48. Удова Л. О., Прокопенко К. О., Дідковська Л. І. Вплив зміни клімату на розвиток аграрного виробництва. *Економіка сільського господарства*. 2014. № 3. С. 107–120.

49. Федуняк І. О., Федуняк, Т. В. Економічна ефективність виробництва валової продукції сільського господарства з врахуванням основних напрямів її переробки. *Ефективна економіка*. 2014. № 11. <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=3500>.

50. Федяй Б. М. Повітрообмін в тваринницьких приміщеннях з гумовим підлоговим покриттям. *Енергетика і автоматика*. 2014. № 4. С. 109–118.

51. Ходорчук В. Я., Алієва І. В., Марткоплішвілі М. М. Мінімізація емісії парникових газів у сільському господарстві. *Аграрний вісник Півдня*. 2014. № 1. С. 168–173.

52. Холод М. Емісія парникових газів та формування ринку квот на їх викиди. *Вісник Сумського державного університету*. 2009. № 2. С. 35–42.

53. Яремчук О. С. Порівняльна оцінка виробництва яловичини від молодняка великої рогатої худоби у нормованому мікрокліматі. *Науковий вісник ЛНУВМБТ імені С. З. Гжицького*. 2016. Т. 18, № 4 (72). С. 91–95.

54. Яремчук О. С., Варпіховський Р. Л. Вплив умов утримання корів на параметри мікроклімату повітря у тваринницьких приміщеннях та отримання додаткових енергоносіїв. *Аграрна наука та харчові технології*. 2017. Вип. 2. С. 259–267.

55. A new cost-effective method to mitigate ammonia loss from intensive cattle feedlots: application of lignite / Chen D. et al. *Scientific reports*. 2015. Vol. 5 (1), 16689.
56. Agricultural opportunities to mitigate greenhouse gas emissions : Review / J. M.-F. Johnson et al. *Environmental Pollution*. 2007. Vol. 150. P. 107–124.
57. Agriculture, forestry and other land use emissions by sources and removals by sinks. 1990–2011 analysis / F. N. Tubiello et al. FAO Statistics Division, Working Paper Series ESS/14-02. 2014. 89 p.
58. Animal waste as a source of greenhouse gas emissions and a factor of climate change / M. Vorobel et al. *Scientific Papers. Series D. Animal Science*. 2023. LXVI, 2. P. 428–435.
<https://animalsciencejournal.usamv.ro/index.php/scientific-papers/current?id=1311>.
59. Asgedom H., Kebreab E. Beneficial management practices and mitigation of greenhouse gas emissions in the agriculture of the Canadian Prairie : a review. *Agronomy for Sustainable Development*. 2011. Vol. 31. P. 433–451
60. Berg W., Pazsiczki I. Mitigation of methane emissions during manure storage. In *International congress series*. Vol. 1293, pp. 213–216). Elsevier. (July, 2006). doi: 10.1016/j.ics.2006.02.050.
61. Biogenic and fossil main greenhouse gas emissions of dairy, beef, pig and poultry systems / M. Berton et al. *Animal*. 2025. 101562. doi: 10.1016/j.animal.2025.101562.
62. Biomass use, production, feed efficiencies, and greenhouse gas emissions from global livestock systems / M. Herrero et al. *PNAS*. 2013. Vol. 110, № 52. P. 20888–20893.
63. Caro D. Greenhouse gas and livestock emissions and climate change. *Encyclopedia of food security and sustainability*. 2019. Vol. 1. P. 228–232.
64. Effects of housing system, measurement methods and environmental factors on estimating ammonia and methane emission rates in dairy barns: A meta-analysis / Q. Qu, J. C. Groot, K. Zhang, R. P. Schulte. *Biosystems Engineering*. 2021. Vol. 205. P. 64–75. doi: 10.1016/j.biosystemseng.2021.02.012.
65. Elmallah M., Shouman M., Elgohary M. M. Reducing methane emissions on livestock ships in order to mitigate greenhouse gas emissions and promote future maritime sustainability. *TransNav, International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*. 2024. Vol. 18 (4). P. 797–804. doi: 10.12716/1001.18.04.05.

66. Grant R. H., Boehm M. T. Ammonia emissions from differing manure storage facilities at two midwestern free-stall dairies. *Atmosph.* 2020. Vol. 11 (10), 1108. <https://doi.org/10.3390/atmos11101108>.
67. Greenhouse gas emission profiles of European livestock sectors / J. P. Lesschen et al. *Animal Feed Science and Technology*. 2011. Vol. 166. P. 16–28.
68. Greenhouse gas emissions from different pig manure management techniques : a critical analysis / C. Dennehy et al. *Frontiers of Environmental Science and Engineering*. 2017. Vol. 11 (3), Issue 11. P. 11–16.
69. Greenhouse gas mitigation in agriculture / P. Smith et al. *Phil. Trans. R. Soc. B*. 2008. Vol. 363. P. 789–813.
70. Improved effect of manure acidification technology for gas emission mitigation by substituting sulfuric acid with acetic acid / A. Fuchs et al.. *Cleaner Engineering and Technology*. 2021. Vol. 4, 100263. doi: 10.1016/j.clet.2021.100263.
71. Koneswaran G., Nierenberg D. Global farm animal production and global warming : Impacting and mitigating climate change. *Environ. Health Perspect.* 2008. Vol. 116, № 5. P. 578–582.
72. Lazarus O., McDermid S., Jacquet J. The climate responsibilities of industrial meat and dairy producers. *Climatic change*. 2021. Vol. 165 (1), 30. doi: 10.1007/s10584-021-03047-7.
73. Livestock waste, types, sources, pollution potential, and country-wise comparisons / S. Riaz, R. Mehmood, H. A. Kareem, H. Sadia. In *Waste Problems and Management in Developing Countries*. 2023. (pp. 205-231). Apple Academic Press.
74. Manure management for greenhouse gas mitigation / S. O. Petersen et al. *Animal*. 2013. № 7. P. 266–282.
75. Meisinger J. J., Lefcourt A. M., Van Kessel J. A. S. Managing ammonia emissions from dairy cows by amending slurry with alum or zeolite or by diet modification. *The Scientific World Journal*. 2001. Vol. 1 (2). P. 860–865. doi: 10.1100/tsw.2001.100.
76. Methane, nitrous oxide and ammonia emissions during storage and after application of dairy cattle slurry and influence of slurry treatment / B Amon, V Kryvoruchko, T Amon, S Zechmeister-Boltenstern. *Agriculture, ecosystems & environment*. 2006. Vol. 112, № 2/3. P. 153–162. doi: 10.1016/j.agee.2005.08.030.

77. Mitigating ammonia and greenhouse gas emissions from stored cattle slurry using agricultural waste, commercially available products and a chemical acidifier / I. Kavanagh et al. *Journal of Cleaner Production*. 2021. Vol. 294, 126251.
78. Mitigation of ammonia emissions from cattle manure slurry by tannins and tannin-based polymers / T. Sepperer et al. *Biomolecules*. 2020. Vol. 10 (4): 581. doi: 10.3390/biom10040581.
79. Moller H. B., Sommer S. G., Ahring B. Biological degradation and greenhouse gas emissions during pre-storage of liquid animal manure. *Journal of Environmental Quality*. 2004. Vol. 33. P. 27–36.
80. Monteny G. J., Groenestein C. M., Hilhorst M. A. Interactions and coupling between emissions of methane and nitrous oxide from animal husbandry. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. 2001. Vol. 60, Issue 1–3. P. 123–132.
81. Nartey O. D., Liu D., Uwamungu J. Y. Corn cobs efficiently reduced ammonia volatilization and improved nutrient value of stored dairy effluents. *Science of The Total Environment*. 2021. Vol. 769, 144712. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.144712.
82. Poteko J., Zähler M., Schrade S. Effects of housing system, floor type and temperature on ammonia and methane emissions from dairy farming: A meta-analysis. *Biosystems engineering*. 2019. Vol. 182. P. 16–28. doi: 10.1016/j.biosystemseng.2019.03.012.
83. Reduction of ammonia emissions by applying a urease inhibitor in naturally ventilated dairy barns / A. B. Bobrowski et al. *Biosystems Engineering*. 2021. Vol. 204. P. 104–114. doi: 10.1016/j.biosystemseng.2021.01.011.
84. Reduction of ammonia emissions from dairy manure using novel urease inhibitor formulations under laboratory conditions / F. Hagenkamp-Korth, A. Haeussermann, E. Hartung, A. Reinhardt-Hanisch. *Biosystems Engineering*. 2015. Vol. 130. P. 43–51.
85. Regueiro I., Coutinho J., Fangueiro D. Alternatives to sulfuric acid for slurry acidification: impact on slurry composition and ammonia emissions during storage, *Journal of Cleaner Production*. 2016. Vol. 131. P. 296–307. doi: 10.1016/j.jclepro.2016.05.032.
86. Shi Z., Xi L., Zhao X. Measurement of ammonia and hydrogen sulfide emission from three typical dairy barns and estimation of total ammonia emission for the Chinese

dairy industry. *Animals*. 2023. Vol. 13 (14), 2301. doi: 10.3390/ani13142301.

87. Tackling climate change through livestock – a global assessment of emissions and mitigation opportunities / P. J. Gerber et al. *Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome*. 2013. Available online: <http://www.fao.org/3/a-i3437e.pdf>.

88. The effect of chemical amendments used for phosphorus abatement on greenhouse gas and ammonia emissions from dairy cattle slurry: Synergies and pollution swapping / R. B. Brennan, M. G Healy, O Fenton., G. J. Lanigan. *PLoS One*. 2015. Vol. 10 (6), e0111965. doi: 10.1371/journal.pone.0111965.

89. The effect of untreated and acidified biochar on NH₃-N emissions from slurry digestate / P. Covali et al. *Sustainability*. 2021. Vol. 13 (2), 837. doi: 10.3390/su13020837.

90. The use of natural sorbents to reduce ammonia emissions from cattle faeces / A. Szymula et al. *Agronomy*. 2021. Vol. 11 (12): 2543. doi: 10.3390/agronomy11122543.

91. Transformation of organic matter and the emissions of methane and ammonia during storage of liquid manure as affected by acidification / S. G. Sommer et al.. *Journal of environmental quality*. 2017. Vol. 46 (3). P. 514–521. doi: 10.2134/jeq2016.10.0409.

Підписано до друку 25.10.2025.
Формат 30х42/4. Папір офсетний. Гарнітура Times New Roman.
Друк офсетний. Умовн. друк. арк. 1,45. Обл.-вид. арк. 1,6.
Тираж 100 прим.

Видавець та виготовлювач
Інститут сільського господарства Карпатського регіону НААН,
вул. Грушевського, 5, с. Оброшине Львівського р-ну Львівської обл., 81115

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи
до державного реєстру видавців, виготовлювачів і розповсюджувачів
видавничої продукції ДК № 7457 від 28.09.2021 р.

inagrokarpat@isgkr.com.ua

www.isgkr.com.ua