



# Генетика, селекція, біотехнологія

УДК 636.2.034:636.083.  
312.2:504.05  
© 2025

## **ЕФЕКТИВНІСТЬ ВПЛИВУ ПЕРЛІТУ Й САПОНІТУ НА РІВЕНЬ ШКІДЛИВИХ ГАЗІВ ЗА ПРИВ'ЯЗНОГО УТРИМАННЯ ВЕЛИКОЇ РОГАТОЇ ХУДОБИ**

*М.І. Воробель*

*кандидат сільськогосподарських наук*

*Інститут сільського господарства Карпатського регіону*

*Національної академії аграрних наук України*

*вул. Грушевського, 5, с. Оброшине Львівського р-ну Львівської обл., 81115, Україна*

*e-mail: vorobelmariia@gmail.com*

*ORCID: 0000-0003-4387-4173*

*Надійшла 21.08.2025*

**Мета.** З'ясувати ефективність впливу неорганічних речовин — перліту й сапоніту — на рівень таких шкідливих газів, як метан ( $\text{CH}_4$ ), вуглекислий газ ( $\text{CO}_2$ ), аміак ( $\text{NH}_3$ ), сірководень ( $\text{H}_2\text{S}$ ) та оксид азоту ( $\text{NO}$ ), у повітрі приміщення за цілорічного прив'язного утримання великої рогатої худоби (ВРХ). **Методи.** Дослідження проводили навесні 2024 р. на базі фермерського господарства «Голуб» (Львівська обл.) із використанням таких методів: електрохімічні — для встановлення рівня шкідливих газів у приміщенні; вибіркового середнього обчислення — для визначення середніх величин і їх похибок; аналітичні — для аналізу та обґрунтування даних. **Результати.** Встановлено, що використання сапоніту сприяє зниженню рівня шкідливих газів у корівнику на 21,3–35,3%, а використання перліту — на 16,9–21,1%. Отже, порівняльна оцінка дії зазначених неорганічних речовин свідчить про те, що сапоніт ефективніший за перліт на 4,4–14,2%. Нижчий рівень шкідливих газів у повітрі приміщення корелює з кислотністю гною, яка зменшується до 6,01 та 6,34 од., відповідно, в разі додавання сапоніту й перліту. **Висновки.** Експериментально підтверджено й науково обґрунтовано зменшення рівня шкідливих газів у повітрі корівника за використання таких неорганічних речовин, як сапоніт і перліт. Застосування сапоніту дасть змогу фермерським господарствам зменшити негативні наслідки від свого функціонування та впливу на довкілля, посилити генетичний потенціал тварин, а отже, отримати максимальний прибуток.

**Ключові слова:** мікроклімат, газоподібні аерополютанти, худоба, сапоніт, перліт, природні сорбенти, велика рогата худоба.

DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202511-05>

Тваринництво — важлива галузь сільського господарства, що істотно впливає на економічний потенціал агропромислового комплексу та стабільне функціонування країни [1]. Ця галузь забезпечує населення продуктами харчування і є постачальником сировини для промисловості, слугуючи запорукою продовольчої незалежності й безпеки, а також має високий експортний потенціал [2, 3]. У структурі валової продукції сільського господарства близько 40% припадає на тваринництво, тому його успішний розвиток є актуальним і належить до пріоритетних завдань агропромислового комплексу [4]. Згідно з даними Продовольчої та сільськогосподарської організації ООН, з їжі тваринного походження людство отримує 16% енергії та на третину забезпечує свої потреби в протеїні [5]. Однак тваринництво не лише розв'язує основні продовольчі проблеми, виконує безліч економічних і соціальних функцій, а й безпосередньо впливає на довкілля та є одним із джерел безперервних викидів парникових газів — рухомих чинників зміни клімату [6, 7].

Перспективною продовольчо-безпековою галуззю тваринництва є скотарство, основне призначення якого полягає у виробництві молока та м'яса в кількостях, що відповідають нормам державної продовольчої безпеки й умовам розширення експортного потенціалу вітчизняної економіки [5, 8]. Конкуレントоздатне скотарство як галузь не лише сприяє підвищенню економічного потенціалу країни, а й передбачає екологізацію виробництва, тобто мінімізацію шкідливого впливу на довкілля від побічної продукції тваринного походження, та гарантування добробуту тварин [3, 7].

Згідно з оцінками Продовольчої та сільськогосподарської організації ООН, сільське та лісове господарство є другим за масштабами сектором утворення парникових газів — на нього припадає 24% їх загальної кількості [9]. Викиди парникових газів сектору тваринництва становлять 18% усіх викидів, пов'язаних із людською діяльністю [1, 9, 10]. Це більше, ніж продукує весь транспортний сектор, — 14% [11]. Порівнюючи тваринництво з іншими сферами сільськогосподарського виробництва, слід зазначити, що воно, забезпечуючи 18% необхідних для людини калорій та 37% протеїну, зумовлює 58% усіх викидів парникових газів у сільськогосподарському секторі, а забруднення ним води та повітря становить, відповідно, 57 і 56% [12].

За даними Національного кадастру антропогенних викидів із джерел та абсорбції поглиначами парникових газів в Україні, лідерами серед парникових газів прямої дії є вуглекислий газ, метан, закис азоту, гідрофторвуглеці, перфторвуглеці, гексафторид сірки [13]. Тваринництво продукує ці шкідливі гази на різних етапах харчового ланцюга. Зокрема, кормові культури та пасовища дають переважно закис азоту та аміак, тварини внаслідок кишкової ферментації генерують метан, а в процесі дихання — вуглекислий газ. Унаслідок нагромадження продуктів їхньої життєдіяльності утворюються метан, аміак, закис азоту та значно менше — інші гази [14]. Загалом на тваринництво припадає в середньому 9% світових викидів вуглекислого газу, 37 — антропогенного метану, 64 — амонію та 65% закису азоту [15].

Аналіз літературних джерел свідчить, що виробництво яловичини призводить

до утворення в 4 рази більших обсягів парникових газів, ніж виробництво еквівалентної кількості свинини, та в 5 разів більше, ніж виробництво курятини. Водночас слід зазначити, що виробництво молочних продуктів у 3–4 рази економічно вигідніше за інші напрями тваринництва [16, 17]. Відомо, що викиди парникових газів на 100 г тваринницької продукції становлять, відповідно: для яловичини — 105 кг, свинини — 14, курятини — 12, баранини — 27 кг, а виробництво 1 л молока генерує 26 кг викидів [18]. Масштаби викидів парникових газів є надзвичайно великими, особливо в скотарстві — 20 найбільших світових м'ясомолочних компаній утворюють більше парникових газів, ніж уся Німеччина [19]. Викиди метану від великої рогатої худоби становлять близько 90 млн т на рік, або приблизно 16% річних світових викидів цього парникового газу [20]. Функціонування сільськогосподарських підприємств забруднює довкілля — повітря, ґрунти і водні джерела — внаслідок викидів газоподібних аерополітантів через витяжну вентиляцію, зменшує ефективність розвитку галузі, негативно впливає на її конкурентоспроможність.

Рентабельність тваринництва, і зокрема скотарства, на 25% визначається санітарно-гігієнічними умовами утримання, серед яких вагоме місце посідає мікроклімат — чинник, що безпосередньо впливає на продуктивність і здоров'я тварин [1, 11, 21]. У галузі скотарства, з огляду на велику розораність земель та інтенсифікацію тваринництва, значного поширення набуло цілорічне стійлове утримання, тому актуальним є питання пошуку засобів і механізмів зменшення вмісту шкідливих газів у приміщеннях, де утримується ВРХ.

Сьогодні більшість досліджень у галузі тваринництва, і скотарства зокрема, спрямовані на пошук можливостей для зниження рівня аміаку, викиди

якого безпосередньо пов'язані з підкисленням ґрунтів, евтрофікацією водних екосистем, утворенням в атмосфері твердих частинок. Потрапляння цього газу в ґрунт, воду й повітря може мати негативні наслідки для біорізноманіття рослин, здоров'я людини і стану екосистеми [7, 22]. У молочних корівниках із природною вентиляцією зменшити рівень аміаку допомагає інгібітор уреаз [23], це підтверджено дослідженнями в лабораторних умовах [24]. У модельних експериментах доведено ефективність впливу на зниження викидів аміаку з гною великої рогатої худоби біовугілля та суміші бентоніту з цеолітом [25]. Підтвердженням того факту, що сорбенти здатні зменшувати викиди аміаку, є дослідження, проведені на фермах для дійних корів, за додавання до гною галунів або цеоліту [26]. Можна використовувати і кукурудзяні качани, і легкий керамзитовий заповнювач, які зменшують кількість викидів аміаку з гною [27]. Широкого розповсюдження набуло використання різних кислот, зокрема сірчаної та молочної, для зменшення з відходів ВРХ викидів аміаку, дещо рідше — метану й закису азоту. Це відбувається завдяки підкисленню гною, тобто зниженню рН, однак слід пам'ятати, що використання кислот є небезпечним [6, 7, 28, 29]. Результати дослідження авторів праці [30] свідчать, що придатними адсорбентами для фіксації аміаку в сільському господарстві є таніни та продукти на їх основі. Нині науковці повідомляють про зменшення викидів аміаку завдяки застосуванню лігніту [31]. Підсумовуючи результати аналізу літературних джерел, слід зазначити, що ці дослідження переважно присвячені зменшенню рівня лише якогось певного газу, а можливість одночасно зменшити викиди й інших шкідливих газів — сірководню, метану, оксиду азоту — в них не розглядали. І це попри те, що згадані гази здатні викликати глобальне потепління.

**Мета досліджень** — з'ясувати ефективність використання неорганічних речовин — перліту та сапоніту — на вміст у повітрі приміщень таких шкідливих газів, як  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{NO}$ , за цілорічного прив'язного утримання ВРХ.

**Матеріали та методи досліджень.** Рівень шкідливих газів —  $\text{CH}_4$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NO}$  — у корівнику досліджували навесні 2024 р. на базі фермерського господарства «Голуб» (Львівська обл.), де практикують прив'язне стійлове утримання тварин упродовж усього року. Для підстилки використовували тирсу, гній прибирали гноєтранспортером, корів доїли безпосередньо у стійлі, оскільки в приміщенні облаштовано молокопровід.

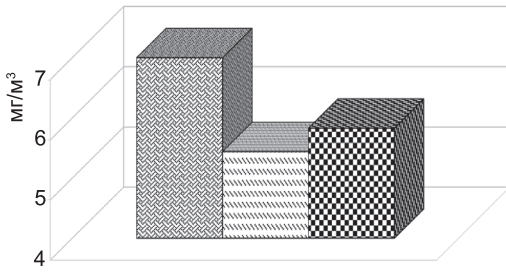
На підставі результатів аналізу показників, отриманих у попередньо проведених дослідженнях *in vitro*, для зменшення рівня шкідливих газів у приміщенні було застосовано природні сорбенти — сапоніт і перліт — у дозі 3%, яка, як виявилось, є оптимальною. Рівень  $\text{CH}_4$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NO}$  за впливу неорганічних речовин визначали переносним сигналізатором-аналізатором газів Дозор С-М-5 із дотриманням загальноприйнятих методик [32]. Вимірювання проводили як по горизонталі — в середині приміщення та у двох кутках по діагоналі на відстані до 3 м від поздовжніх стін та до 1 м від торцевих, так і по вертикалі — на рівні лежання й стояння тварин. Температуру і вологість вимірювали за допомогою гігрометра психрометричного. Одним із ключових параметрів, що впливають на біохімічні процеси розкладання органічної речовини, а отже, й на утворення газів, є кислотність (рН) гною, яку визначали з використанням приладу рН-метр Тур N5170. Статистичний аналіз отриманих даних проводили за методами варіаційної статистики, використовуючи стандартний пакет прикладних програм (Microsoft Excel 2013 та AtteStat) і *t*-критерій Стьюдента.

Різницю між середніми арифметичними значеннями вважали вірогідною за умов: \* $P < 0,05$ ; \*\* $P < 0,01$ ; \*\*\* $P < 0,001$ .

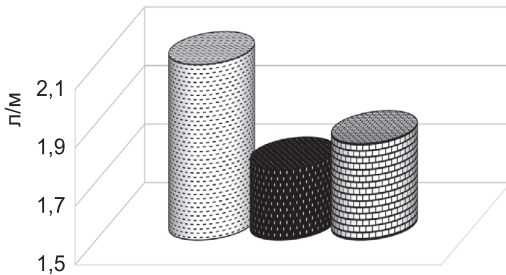
**Результати досліджень.** Важливим показником мікроклімату приміщень є температура повітря, від якої безпосередньо залежить інтенсивність перебігу обмінних процесів в організмі тварин, а відтак, і якість отриманої продукції та її собівартість. Упродовж досліджуваного періоду температура у приміщенні для утримання худоби становила в середньому  $14,9\text{ }^\circ\text{C}$ . Експеримент проводили у весняний період. Водночас із температурою визначали й відносну вологість. З підвищенням температурного режиму відбувається її зниження, а якщо вологість невисока, то тварини легше переносять спеку. Під час проведення дослідження відносна вологість у приміщенні становила 59%.

Основними джерелами аміаку в корівниках є азотовмісні органічні речовини, що розкладаються, — корми та відходи. За підвищення температури та швидкості вентиляції випаровування з останніх зростає [33–35]. Випаровуючись із відходів та поверхонь приміщення, аміак піднімається вгору і накопичується там, оскільки його густина менша порівняно з повітрям. Потрапляючи в дихальні шляхи тварин і людей, він негативно впливає на їхні організми [33, 36, 37]. Установлено, що рівень  $\text{NH}_3$  у приміщенні (рис. 1) знижується в разі застосування сапоніту із  $7,33\text{ мг/м}^3$  до  $5,44\text{ мг/м}^3$ , тобто 25,8% ( $P < 0,01$ ), а за використання перліту — до  $5,83\text{ мг/м}^3$ , тобто на 20,5% ( $P < 0,005$ ).

Важливим параметром санітарно-гігієнічних умов утримання великої рогатої худоби є вміст вуглекислого газу, висока концентрація якого пригнічує окиснювальні процеси, підвищує кислотність тканин, підсилює небажані для здоров'я обмінні процеси [33, 36, 38]. Цей газ важчий за повітря, тому його накопичення відбувається



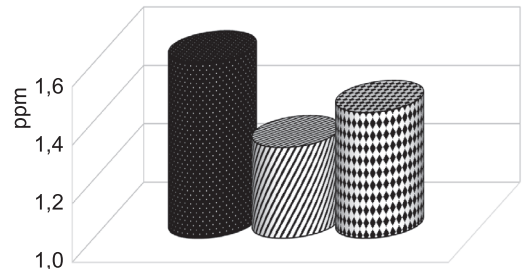
**Рис. 1.** Ефективність впливу сапоніту й перліту на рівень  $\text{NH}_3$  у приміщенні для ВРХ за її прив'язного утримання: ■ — контроль; ▨ — сапоніт; ▩ — перліт



**Рис. 2.** Ефективність впливу сапоніту й перліту на рівень  $\text{CO}_2$ : ■ — контроль; ▨ — сапоніт; ▩ — перліт

в нижній частині приміщення [36]. Результати експериментальних досліджень показали (рис. 2), що за використання сапоніту рівень  $\text{CO}_2$  у повітрі приміщення знижується на 21,3% ( $P < 0,01$ ), а за використання перліту — на 17,2% ( $P < 0,05$ ).

Джерелом метану в приміщенні є продукти внутрішньої ферментації та розкладання гною. Метан, як і аміак, має меншу густину порівняно з повітрям, а тому накопичується переважно у верхній частині приміщення. Підвищення температури повітря призводить до зростання його кількості [34, 35]. Сорбент сапоніт знижує рівень  $\text{CH}_4$  (рис. 3) у приміщенні за цілодобового стійлового утримання великої рогатої худоби — з 1,72 до 1,31 ррт ( $P < 0,01$ ), або на 23,8%. У разі застосування перліту відбувалося зменшення кількості метану до 1,43 ррт ( $P < 0,05$ ).

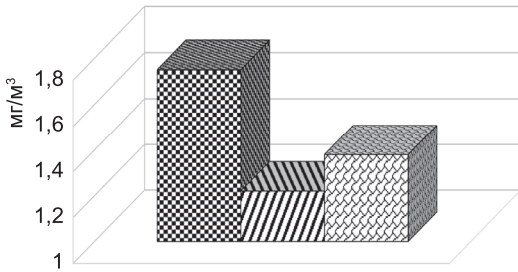


**Рис. 3.** Вплив сапоніту й перліту на рівень  $\text{CH}_4$  у корівнику: ■ — контроль; ▨ — сапоніт; ▩ — перліт

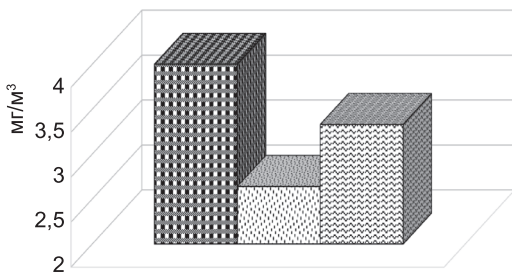
Негативно впливає на організм тварин за їх тривалого перебування у приміщенні й оксид азоту, непрямым джерелом якого є аміак [39]. Експерименти засвідчили, що в разі використання сапоніту рівень  $\text{NO}$  (рис. 4) у повітрі корівника з 1,75 мг/м<sup>3</sup> знижується до 1,22 ( $P < 0,01$ ), тобто на 30,3%, а за використання перліту — до 1,38 мг/м<sup>3</sup> ( $P < 0,05$ ), або на 21,1%.

Ще один шкідливий газ, сірководень, утворюється в корівниках внаслідок розкладання сірковмісних органічних речовин — білка, екскрементів тощо [38, 40, 41]. Застосування сапоніту сприяє зниженню рівня сірководню у приміщенні з 4,08 мг/м<sup>3</sup> (рис. 5) до 2,64 мг/м<sup>3</sup> ( $P < 0,01$ ), тобто на 35,3%, а застосування перліту — до 3,33 мг/м<sup>3</sup> ( $P < 0,05$ ), або на 18,4%.

Аналіз отриманих упродовж дослідження експериментальних даних показав, що зниження рівня шкідливих газів у корівниках завдяки використанню неорганічних речовин викликає пригнічення ферментативних процесів у гної, що підтверджується його кислотністю. А кислотність є вагомим чинником для визначення інтенсивності бродіння. Під час проведення дослідження встановлено, що рН гною великої рогатої худоби сягає 6,82 од. (рис. 6). Застосування сапоніту й перліту знижує цей показник, відповідно, до 6,01 й 6,34 од., що свідчить про пригнічення життєдіяльності мікроорганізмів унаслідок зростання концентрації іонів  $\text{H}^+$ .

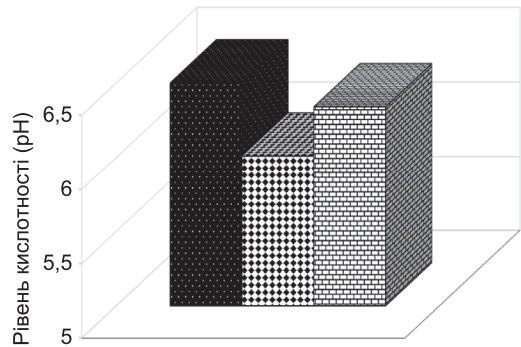


**Рис. 4.** Вплив сапоніту й перліту на рівень NO в корівнику: ▣ — контроль; ▤ — сапоніт; ▥ — перліт



**Рис. 5.** Вплив сапоніту й перліту на рівень H<sub>2</sub>S у корівнику: ▣ — контроль; ▤ — сапоніт; ▥ — перліт

Порівняння ефективності дії досліджених неорганічних речовин на рівень шкідливих газів у приміщенні для утримання худоби свідчить про переважання сапоніту. За його використання вміст NH<sub>3</sub> в повітрі зменшується на 25,8% проти 20,5% у разі внесення перліту, CO<sub>2</sub> — на 21,3 проти 17,2%, CH<sub>4</sub> — на 23,8 проти 16,9%, NO — на 30,9 проти 21,1%, а рівень H<sub>2</sub>S — на 35,3 проти 18,4%. Отже,



**Рис. 6.** Вплив сапоніту й перліту на рівень рН гною: ■ — контроль; ▣ — сапоніт; ▥ — перліт

сапоніт знижує рівень шкідливих газів у приміщенні за прив'язного утримання великої рогатої худоби на 21,3–35,3%, а перліт — на 16,9–21,1%. Інакше кажучи, застосування сапоніту забезпечує на 4,4–14,2% кращі результати, ніж додавання перліту.

Підсумовуючи отримані дані, слід зазначити, що експериментальні дослідження підтверджують доцільність використання зазначених неорганічних речовин безпосередньо у приміщеннях для утримання великої рогатої худоби з метою зменшення рівня шкідливих газів. Це дає змогу мінімізувати їх викиди в навколишнє природне середовище, а відтак сприяє реалізації генетичних задатків тварин, а також підвищенню рентабельності й конкурентної здатності молочного скотарства.

## Висновки

Доведено позитивний вплив досліджених неорганічних речовин — сапоніту й перліту — на рівень шкідливих газів у повітрі приміщення для ВРХ за її цілорічного прив'язного стійлового утримання. Встановлено, що застосування сапоніту знижує вміст NH<sub>3</sub>, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, NO, H<sub>2</sub>S у приміщенні в середньому на 21,3–35,3%, а застосування

перліту — на 16,9–21,1%. Отже, кращий результат забезпечує використання першого природного сорбенту і саме його слід застосовувати. Додавання сапоніту до гною сприятиме підвищенню економічної ефективності фермерських господарств завдяки підвищенню резистентності організму тварин до захворювань

і забезпеченню вищої продуктивності галузі молочного скотарства. В перспективі планується провести експериментальні дослідження щодо ефективності впливу перліту й сапоніту на емісію проаналізованих шкідливих

газів у разі зберігання гною у сховищах (лагунах) та визначити ефективні засоби для зменшення емісії шкідливих газів із побічної продукції тваринного походження в навколишнє природне середовище.

### M. Vorobel

*Institute of Agriculture of the Carpathian Region of NAAS, 5 Hrushevskiyi Str., vil. Obroshyne, Lviv district, Lviv oblast, 81115, Ukraine; e-mail: vorobelmariia@gmail.com; ORCID: 0000-0003-4387-4173*

#### **Efficiency of influence of perlite and saponite on the level of harmful gases at tethered growing of cattle**

**Goal.** To find out the effectiveness of the influence of inorganic substances — perlite and saponite — on the level of such harmful gases as methane (CH<sub>4</sub>), carbon dioxide (CO<sub>2</sub>), ammonia (NH<sub>3</sub>), hydrogen sulfide (H<sub>2</sub>S), and nitric oxide (NO), in the air of the room at the year-round tethered growing of cattle. **Methods.** The study was conducted in the spring of 2024 based on the farm «Holub» (Lviv oblast) using the following methods: electrochemical — to establish the level of harmful gases in the room; selective average calculation — to determine average values and their errors; analytical — for analysis and substantiation of data. **Results.** It was found that the use of

saponite helped to reduce the level of harmful gases in the cowshed by 21.3–35.3%, and the use of perlite by 16.9–21.1%. Therefore, a comparative assessment of the effect of these inorganic substances indicated that saponite was 4.4–14.2% more effective than perlite. The lower level of harmful gases in the room air correlated with the acidity of manure, which decreased to 6.01 and 6.34 units, respectively, in the case of the addition of saponite and perlite. **Conclusions.** The reduction of the level of harmful gases in the air of the cowshed for the use of such inorganic substances as saponite and perlite was experimentally confirmed and scientifically substantiated. The use of saponite will allow farms to reduce the negative consequences of their functioning and environmental impact, strengthen the genetic potential of animals, and therefore get the maximum profit.

**Key words:** microclimate, gaseous air pollutants, cattle, saponite, perlite, natural sorbents.

DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202511-05>

### Бібліографія

1. Палапа Н.В., Пронь Н.Б., Устименко О.В. Промислове тваринництво: еколого-економічні наслідки. Збалансоване природокористування. 2016. № 3. С. 64–67.
2. Ляшенко М.В. Екологічна парадигма локалізації виробництва продукції тваринництва. *Інвестиції: практика та досвід*. 2018. № 11. С. 70–75.
3. Пушкар Я., Пушкар Т., Решетніченко О., Антонік І. Дія озono-повітряної суміші на шкідливі гази. *Аграрний вісник Причорномор'я*. 2022. Вип. 105. С. 65–72. doi: 10.37000/abbsl.2022.105.09
4. Скабаль В.І. Функціонування та тенденції розвитку галузей тваринництва в регіонах. *Економічний аналіз*. 2014. Вип. 18. № 3. С. 75–80.
5. Антощенко В.В. Сучасний стан молочного скотарства в Україні. *Український журнал прикладної економіки*. 2020. Вип. 5. № 2. С. 25–32. doi: 10.36887/2415-8453-2020-2-3
6. Fuchs A., Dalby F.R., Liu D. et al. Improved effect of manure acidification technology for gas emission mitigation by substituting sulfuric acid with acetic acid. *Cleaner Engineering and Technology*. 2021. 4:100263. doi: 10.1016/j.clet.2021.100263
7. Kavanagh I., Fenton O., Healy M.G. et al. Mitigating ammonia and greenhouse gas emissions from stored cattle slurry using agricultural waste, commercially available products and a chemical acidifier. *Journal of Cleaner Production*. 2021. 294:126251. doi: 10.1016/j.jclepro.2021.126251

8. Гладій М.Р., Просович О.П. Сучасний стан та перспективи розвитку молочної галузі України. *Вісник Національного університету «Львівська політехніка»*. 2022. Т. 10. № 2. С. 20–31.

9. Caro D. Greenhouse Gas and Livestock Emissions and Climate Change. *Encyclopedia of Food Security and Sustainability*. 2019. 1. P. 228–232. doi: 10.1016/B978-0-08-100596-5.22012-X

10. Dennehy C., Lawlor P.G., Jiang Y. et al. Greenhouse gas emissions from different pig manure management techniques: a critical analysis. *Frontiers of Environmental Science and Engineering*. 2017. 11(3). P. 11–16. doi: 10.1007/s11783-017-0942-6

11. Корбич Н.М. Екологічні проблеми в тваринництві. *Екологічні проблеми навколишнього середовища та раціонального природокористування в контексті сталого розвитку: матеріали IV міжнар. наук.-практ. конф.* (м. Херсон, 21–22 жовтня 2021 р.). Херсон, 2021. С. 143–146.

12. Poore J., Nemecek T. Reducing food's environmental impacts through producers and consumers. *Science*. 2018. 360(6392). P. 987–992.

13. Тимошук О.А., Тимошук 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.

14. Berton M., Sturaro E., Schiavon S. et al. Biogenic and fossil main greenhouse gas emissions of dairy, beef, pig and poultry systems. *Animal*. 2025. 19(7):101562. doi: 10.1016/j.animal.2025.101562

15. Riaz S., Mehmood R., Kareem H.A., Sadia H. Livestock waste, types, sources, pollution potential, and country-wise comparisons. In *Waste Problems and Management in Developing Countries*. New York: Apple Academic Press, 2023. 490 p.

16. 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.

17. 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.

18. 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.

19. Lazarus O., McDermid S., Jacquet J. The climate responsibilities of industrial meat and dairy producers. *Climatic change*. 2021. 165(1):30. doi: 10.1007/s10584-021-03047-7

20. 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. *International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*. 2024. 18(4). P. 797–804. doi: 10.12716/1001.18.04.05.

21. Бей П.В. Мікроклімат тваринницьких приміщень як центральна проблема гігієни сільськогосподарських тварин та механізації тваринництва. *Гілея: науковий вісник*. 2016. Вип. 105. С. 125–126.

22. Covali P., Raave H., Escuer-Gatius J. et al. The effect of untreated and acidified biochar on NH<sub>3</sub>-N emissions from slurry digestate. *Sustainability*. 2021. 13(2):837. doi: 10.3390/su13020837

23. Bobrowski A.B., Willink D., Janke D. et al. Reduction of ammonia emissions by applying a urease inhibitor in naturally ventilated dairy barns. *Biosystems Engineering*. 2021. 204(3). P. 104–114. doi: 10.1016/j.biosystemseng.2021.01.011

24. Hagenkamp-Korth F., Haeussermann A., Hartung E. et al. Reduction of ammonia emissions from dairy manure using novel urease inhibitor formulations under laboratory conditions. *Biosystems Engineering*. 2015. 130. P. 43–51.

25. Szymula A., Wlazło Ł., Sasáková N. et al. The use of natural sorbents to reduce ammonia emissions from cattle faeces. *Agronomy*. 2021. 11(12):2543. doi: 10.3390/agronomy11122543

26. 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. 1(2). P. 860–865. doi: 10.1100/tsw.2001.100

27. 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. 769: 144712. doi:10.1016/j.scitotenv.2020.144712

28. Sommer S.G., Clough T.J., Balaine N. et al. Transformation of organic matter and the emissions of methane and ammonia during storage of liquid manure as affected by acidification. *Journal of Environmental Quality*. 2017. 46(3). P. 514–521. doi: 10.2134/jeq2016.10.0409

29. 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. 131. P. 296–307. doi: 10.1016/j.jclepro.2016.05.032

30. Sepperer T., Tondi G., Petutschnigg A. et al. Mitigation of ammonia emissions from cattle manure slurry by tannins and tannin-based polymers. *Biomolecules*. 2020. 10(4):581. doi: 10.3390/biom10040581

31. Chen D., Sun J., Bai M. et al. A new cost-effective method to mitigate ammonia loss from intensive cattle feedlots: application of lignite. *Scientific reports*. 2015. 5(1):16689.

32. Високос М.П., Чорний М.В., Захаренко М.О. Практикум для лабораторно-практичних занять з гігієни тварин. Харків: Еспада, 2003. 216 с.

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

34. Qu Q., Groot J.C., Zhang K., Schulte R.P. Effects of housing system, measurement methods and environmental factors on estimating ammonia and methane emission rates in dairy barns: A meta-analysis. *Biosystems Engineering*. 2021. 205. P. 64–75. doi: 10.1016/j.biosystemseng.2021.02.012

35. Poteko J., Záhner M., Schrader S. Effects of housing system, floor type and temperature on ammonia and methane emissions from dairy farming: A meta-analysis. *Biosystems engineering*. 2019. 182. P. 16–28. doi: 10.1016/j.biosystemseng.2019.03.012

36. Яремчук О.С., Варпиховський 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.

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

38. Болтянська Н.І., Непарко Т.А. Формування мікроклімату в приміщеннях для утримання великої рогатої худоби. *Сучасна інженерія агропромислових і харчових виробництв: матеріали міжнар. наук.-практ. конф.* Харків: ДБТУ, 2021. С. 472–475.

39. Vorobel M., Kaplinsky V., Klym O. et al. Animal waste as a source of greenhouse gas emissions and a factor of climate change. *Scientific Papers. Series D. Animal Science*. 2023. LXVI. (2). P. 428–435.

40. Maasikmets M., Teinema E., Kaasik A., Kimmel V. Measurement and analysis of ammonia, hydrogen sulphide and odour emissions from the cattle farming in Estonia. *Biosystems engineering*. 2015. 139. P. 48–59. doi: 10.1016/j.biosystemseng.2015.08.002

41. 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. 13(14):2301. doi: 10.3390/ani13142301