

Оригінальна наукова стаття

УДК 631:636.4:631.862:504.05

**ЕФЕКТИВНІСТЬ ВПЛИВУ РІЗНИХ ДОЗ БІОПРЕПАРАТІВ
НА ЕМІСІЮ ШКІДЛИВИХ ГАЗІВ З ГНОЮ СВИНЕЙ****М. І. Воробель**

Інститут сільського господарства
Карпатського регіону НААН
вул. Грушевського, 5, с. Оброшине,
Львівський р-н, Львівська обл.,
81115

Про авторів:

Марія ВОРОБЕЛЬ,
кандидат сільськогосподарських
наук
ORCID: 0000-0003-4387-4173

Для листування:

Марія ВОРОБЕЛЬ
e-mail: vorobelmariia@gmail.com

Інформація про фінансування:

Національна академія аграрних
наук України

Отримано:

9 жовтня 2024 р.

Погоджено до друку:

4 листопада 2024 р.

Антропогенний вплив сільського господарства на атмосферу здійснюється внаслідок нагромадження побічної продукції тваринництва, що слугує джерелом емісії забруднювальних речовин, включаючи й шкідливі гази – аміак (NH_3), сірководень (H_2S), оксид (NO) та закис азоту (N_2O), метан (CH_4), діоксид вуглецю (CO_2). Галузь тваринництва, зокрема свинарство, займає одну з провідних ланок щодо забезпечення харчової безпеки держави та одночасно є продуцентом значного обсягу відходів, накопичення яких призводить до негативного впливу на довкілля. Основою запланованих досліджень було встановлення ефективності застосування біопрепаратів – АгроМар D та Редуклін-Компост у різних дозах на рівень емісії шкідливих газів – NH_3 , H_2S , NO , CH_4 , CO_2 з відходів свиней *in vitro*. Аналіз одержаних результатів свідчить про зменшення викидів досліджуваних газів з гною свиней за використання різних доз біопрепаратів – АгроМар D і Редуклін-Компост, однак найкращі результати спостерігаються у дозі – 40 мл/м³. При порівняльній оцінці впливу вищевказаних біопрепаратів на емісію шкідливих газів з відходів свиней слід зазначити, що рівень виділення NH_3 знижується за внесення біопрепаратів – АгроМар D й Редуклін-Компост, відповідно до 10,2 % та 15,7 %, H_2S – до 12,2 % і 20,8 %, NO – до 11,5 % й 13,3 %, CH_4 – до 6,9 % та 10,3 %, CO_2 – до 13,1 % і 14,4 %. Одночасно зі зменшенням викидів газів додавання біопрепаратів забезпечує і нижчий рівень показника рН гною. Таким чином, одержані дані вказують на доцільність використання досліджуваних біопрепаратів, зокрема Редуклін-Компосту для зниження рівня емісії шкідливих газів за зберігання гною, так і безпосередньо у приміщеннях для утримання свиней, що забезпечить зменшення негативних наслідків діяльності галузі свинарства на стан довкілля, тим самим, запобігаючи порушенню екологічної рівноваги у природному середовищі.

Ключові слова: свинарство, забруднення, відходи, шкідливі гази, біопрепарати.

Effectiveness of the influence of different doses of biopreparations on the emission of harmful gases from pig manure

Institute of Agriculture of Carpathian Region of NAAS
Hrushevskoho street, 5, Obroshyne village, Lviv district, Lviv region, 81115

About authors:

Mariia VOROBEL
ORCID: 0000-0003-4387-4173

For corresponding:

Mariia VOROBEL
e-mail: vorobelmariia@gmail.com

Funding information:

National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine

Received:

October 9, 2024

Accepted:

November 4, 2024

The anthropogenic influence of agriculture on the atmosphere is carried out due to the accumulation of by-products of animal husbandry, which serves as a source of emission of pollutants, including harmful gases – ammonia (NH₃), hydrogen sulfide (H₂S), nitric oxide (NO), nitrous oxide (N₂O), methane (CH₄), carbon dioxide (CO₂). The livestock industry, in particular pig farming, occupies one of the leading links in ensuring the food security of the state and at the same time is a producer of a significant amount of waste, the accumulation of which leads to a negative impact on the environment. The basis of the planned research was the establishment of the effectiveness of the use of biopreparations – AgroMar D and Reduklin-Compost in different doses on the level of emission of harmful gases – NH₃, H₂S, NO, CH₄, CO₂ from pig waste *in vitro*. The analysis of the obtained results indicates a reduction in emission of the studied gases from pig manure when using different doses of biopreparations – AgroMar D and Reduklin-Compost, but the best results were observed at a dose of 40 ml/m³. In a comparative assessment of the influence of the above biopreparations on the emission of harmful gases from pig waste, it should be noted that the level of NH₃ release decreases with the introduction of biopreparations AgroMar D and Reduklin-Compost, respectively, to 10.2 % and 15.7 %, H₂S – to 12.2 % and 20.8 %, NO – to 11.5 % and 13.3 %, CH₄ – to 6.9 % and 10.3 %, CO₂ – to 13.1 % and 14.4 %. Simultaneously with the reduction of release of gases, the addition of biopreparations ensures a lower level of the manure pH indicator. Thus, the obtained data indicate the expediency of using the studied biopreparations, in particular, Reduklin-Compost to decrease the level of harmful gases release during manure storage. It can be used as well directly in premises for keeping pigs, which will ensure a reduction of the negative effects of pig farming on the environment, thereby preventing violation of the ecological balance in the natural environment.

Keywords: pig farming, pollution, waste, harmful gases, biopreparations.

This is an open-access article under the terms of the Creative Commons.

Вступ. Тваринництво є стратегічною галуззю сільського господарства і національної економіки, оскільки насичує продовольством не лише внутрішній ринок нашої держави, але є істотним резервом для експортного потенціалу країни, а також забезпечує промисловість – сировиною, а рослинницьку галузь, зокрема землеробство – органічними добривами [8, 13, 17, 21, 24]. Однією із продуктивних галузей тваринництва є свинарство, що відіграє ключову роль у забезпеченні населення продукцією за відносно короткий період і характеризується швидкою її окупністю [21]. У структурі

світового балансу м'яса перше місце займає свинина (близько 37,6 %), друге місце – м'ясо птиці (35 %), третє – яловичина (22,8 %) [13]. У нашій державі за виробництвом продукції тваринництва дана галузь займає друге місце після птахівництва [15], а частці свинини із загального фонду споживання м'яса належить в середньому 37 %. Теперішній рівень споживання м'яса в нашій державі дещо вище мінімальної норми (52 кг) і становить за 2023 р. – 54,7 кг на одну людину на рік, однак є нижчим від раціональної норми, рекомендованої МОЗ України – 83 кг, тобто на 28,3 кг або на

34,1 % [5]. Сільськогосподарське виробництво безпосередньо пов'язане з умовами зовнішнього природного середовища, наявністю й можливістю використання природних ресурсів, а саме: землі, води, лісів, рослин й тварин [12]. При веденні галузі тваринництва, в тому числі й свинарства, внаслідок функціонування сільськогосподарських підприємств, одночасно з основною продукцією спостерігається нагромадження в значно більшій кількості побічних продуктів тваринного походження, зокрема відходів, а останні сприяють зростанню антропогенного навантаження на довкілля [15, 18, 23, 25, 36]. Найбільша кількість гною утворюється у скотарстві – 44 %, свинарстві – 39 %, а птахівництво відповідає за накопичення 17 % відходів [18]. Так, за виробництва 1 л молока (за продуктивності 5 тис. л на рік) утворюється 4 кг екскрементів, 1 кг свинини (за приростів живої маси 600 г на день) – 11 кг, 1 кг яловичини – 30 кг (за приростів 1 кг на день), а одержання 1 кг м'яса птиці продукує 4,6 кг відходів і це без врахування води та підстилки, що потрапляє у гній [3]. Відходи тваринництва слугують не лише органічним добривом у сільському господарстві, а і є джерелом надходження у довкілля надмірної кількості газоподібних аерополітантів, в тому числі шкідливих газів – метану, діоксиду вуглецю, оксиду азоту, аміаку, сірководню тощо [18, 23, 29, 32, 37]. Таким чином, сільськогосподарські підприємства виступають потужними забруднювачами повітряного середовища, водних джерел, ґрунту, що тим самим сприяє зменшенню їх рентабельності та конкурентоспроможності.

У доповіді Міжурядової групи експертів зі зміни клімату зазначається про вплив на глобальне потепління сільського господарства, якому відводиться 10–12 % світових обсягів викидів парникових газів [6, 20, 32, 34]. За даними Food and Agriculture Organization of the United Nations емісія парникових газів в секторі сільського, лісового й рибного господарства впродовж останніх 50 років

підвищилася вдвічі та прогнозується зростання до 2050 р. ще на 30 % [26]. Згідно з оцінками закордонних вчених, тваринництво відповідає за 44 % викидів антропогенного метану, 53 % – закису азоту і 5 % – діоксиду вуглецю, які обумовлюють глобальне потепління [41]. Кліматичні зміни виникають внаслідок поглинання парниковими газами тепла і затримання теплового випромінювання та проявляються підвищенням температурного режиму, зростанням частоти й потужності природних катастроф і катаклізмів, виникненням кислотних дощів, утворенням атмосферного аерозолі й зменшенням запасів питної води тощо [1, 11, 16, 24, 28]. Аналіз літературних джерел свідчить, що потенціал глобального потепління такого парникового газу, як метан, вищий у 21–34 рази, ніж діоксиду вуглецю і він накопичується в атмосфері до 12 років [26, 30, 32, 36]. Водночас із цим, роль та вплив на зміну клімату N_2O згідно з даними багатьох авторів, ще більший й перевищує аналогічні показники CO_2 у 265–310 раз [1, 12, 32, 34, 36]. Останній викликає деструкцію стратосферного озонового шару, що захищає живі організми від шкідливого ультрафіолетового випромінювання сонця [1, 36]. Непрямим джерелом N_2O є аміак, який осідає в поверхневих водах і може спричинити евтрофікацію водойм, сприяє виникненню кислотних дощів, підкисленню ґрунтів та пов'язаний з утворенням аерозолів [9, 31]. Також виникненню кислотних дощів, а відтак і зміні клімату сприяє сірководень, який серед побічних продуктів розкладання гною вважається найтоксичнішим газом з неприємним запахом [31]. Боротьба зі зміною клімату є глобальним викликом, а розв'язання цієї проблеми висвітлено у ряді укладених міжнародних угод: 1992 р. – Рамкова конвенція ООН про зміну клімату, 1997 р. – Кіотський протокол, 2016 р. – Паризька угода. Україна у Паризькій угоді зобов'язалася обмежити викиди парникових газів на рівні, який до 2030 р. не перевищуватиме 60 % від рівня 1990 р. [12, 22].

У структурі тваринництва, свиначство займає друге місце після скотарства за рівнем викидів парникових газів (метану і закису азоту), а за виділенням їх із гною – перше [15]. Викиди метану від розкладання гною свиней є вищими (3,19 кг/голову/рік), у порівнянні з викидами від кишкової ферментації (1,5 кг/голову/рік) [4]. Відповідно до Національного кадастру антропогенних викидів парникових газів за обсягами їх утворення в Україні друге місце належить екскрементам тварин, а на свиначство – з усіх галузей тваринництва припадає 46 %, тоді як скотарство займає 30 %, птахівництво – 20 %, а інші види тварин – 4 %. Аналіз джерел літератури свідчить, що забруднення довкілля від комплексу при утриманні 100 тис. голів свиней аналогічне промисловому центру з населенням 400–500 тис. осіб [8, 10]. Дослідженнями інших вчених встановлено, що від підприємства з вирощування 108 тис. свиней відбувається розповсюдження специфічного запаху на відстань до 5 км [7]. У сучасних умовах одним із найважливіших питань є охорона довкілля, а ефективне ведення галузі тваринництва неможливе без цілеспрямованого, науково обґрунтованого підходу в цій сфері [23, 26, 32]. Таким чином, актуальності набуває питання не лише забезпечення продовольчої безпеки населення нашої держави, але й мінімізація негативного впливу на довкілля одержаної побічної продукції, забезпечення добробуту тварин і одночасного підвищення прибутковості та рентабельності галузі.

Перспективним завданням сьогодення є пошук ефективних засобів та способів для зменшення забруднення навколишнього природного середовища шкідливими газами від продуктів життєдіяльності свиней і тому даному питанню присвячується дослідженням низки вчених. Аналіз літературних джерел свідчить, що для зниження емісії окремого газу, переважно аміаку чи сірководню, з органічних відходів галузі свиначства широко застосовуються органічні речовини –

солома, торф [27] природні сорбенти [2, 33], рослинні олії [38] або кислоти, а останні є небезпечні й шкідливі у використанні [35, 39]. Меншого поширення у свиначстві набули препарати на основі ефективних мікроорганізмів, і це в основному для нейтралізації запаху аміаку, а рідше метану [14, 40]. Таким чином, актуальним залишається завдання зменшення впливу на довкілля викидів комплексу газів з гною свиней.

Тому, метою досліджень було з'ясування впливу різних доз біопрепаратів – АгроМар D та Редуклін-Компост на рівень емісії шкідливих газів – NH_3 , H_2S , NO , CH_4 , CO_2 з гною свиней за анаеробного бродіння (*in vitro*).

Матеріали і методи.

Експериментальні дослідження щодо встановлення ефективності впливу біопрепаратів – АгроМар D та Редуклін-Компост у різних дозах – 20 мл/м³; 40 та 60 мл/м³ на рівень емісії шкідливих газів – NH_3 , H_2S , NO , CH_4 , CO_2 з гною свиней проведено *in vitro* згідно з методикою О. Г. Скляра та ін. [19]. Зразки гною свиней відібрано у ДП «ДГ «Радехівське»» Інституту сільського господарства Карпатського регіону НААН. У процесі проведення даного експерименту в лабораторних умовах використано електрохімічні, математично-статистичні та аналітичні методи. Впродовж дослідження температура підтримувалася в межах психрофільного режиму. Для забезпечення анаеробних умов у експерименті використано герметично закриті місткості. З метою дотримання стабільності процесу біоферментації вологість субстрату становила 92 %.

Для зменшення емісії шкідливих газів – NH_3 , H_2S , NO , CH_4 , CO_2 після проходження етапів гідролізу, окислення та ацетогенезу на 11 добу в зброджений гній свиней (*in vitro*) додавали біопрепарати АгроМар D та Редуклін-Компост у різних дозах – 20 мл/м³; 40 та 60 мл/м³, представлені у таких варіантах: I варіант – контроль (без внесення речовин); II – АгроМар D, 20 мл/м³; III – АгроМар D, 40 мл/м³; VI –

АгроМар D, 60 мл/м³; V – Редуклін-Компост, 20 мл/м³; VI – Редуклін-Компост, 40 мл/м³; VII варіант – Редуклін-Компост, 60 мл/м³. Кожен варіант дослідів мав трикратну повторність. Умови перебігу процесу біоферментації були аналогічні, як у контрольному варіанті, де анаеробне зброджування субстрату відбувалося шляхом природної мікрофлори гною, так і у дослідних аналогах із внесенням різних доз – 20–60 мл/м³ досліджуваних біопрепаратів – АгроМар D та Редуклін-Компост.

Визначення рівня виділення шкідливих газів – NH₃, H₂S, NO, CH₄, CO₂ при анаеробній ферментації гною свиней (*in vitro*) здійснювали за допомогою сигналізатора-аналізатора газів Дозор С-М-5 (свідоцтво про перевірку законодавчо регульованого засобу вимірювальної техніки № 84709/92 і сертифікат відповідності № UA.TR.002.CB.1234-19). У контролі й дослідних варіантах проводили вимірювання зазначених вище газів кожні три доби після внесення біопрепаратів впродовж місяця. У експерименті на початку та по його завершенні визначали кислотність (pH) приладом pH-метр Тур N5170.

Математично-статистичний аналіз одержаних результатів досліджень проводили методами варіаційної статистики за допомогою стандартного пакета прикладних програм *Microsoft Excel* та *AtteStat* з використанням *t*-критерію Стьюдента. Розраховували середні арифметичні величини (*M*) та похибки середніх арифметичних ($\pm m$). Різницї між середніми арифметичними значеннями вважали вірогідними за: **P*<0,05; ***P*<0,01; ****P*<0,001.

Результати та обговорення. Аналіз експериментальних даних, одержаних при виконанні дослідження, свідчить, що найефективніша дія на зменшення рівня емісії шкідливих газів – NH₃, H₂S, NO, CH₄, CO₂ з гною свиней (*in vitro*) за використання різних доз (20 мл/м³; 40 і 60 мл/м³) біопрепаратів – АгроМар D та Редуклін-Компост спостерігається на сьому добу. Водночас із цим, пролонгованість позитивного впливу на зниження виділення досліджуваних газів зі зброженого субстрату свиней за внесення біопрепаратів у різних дозах поступово зменшувалася до 31 доби експерименту.

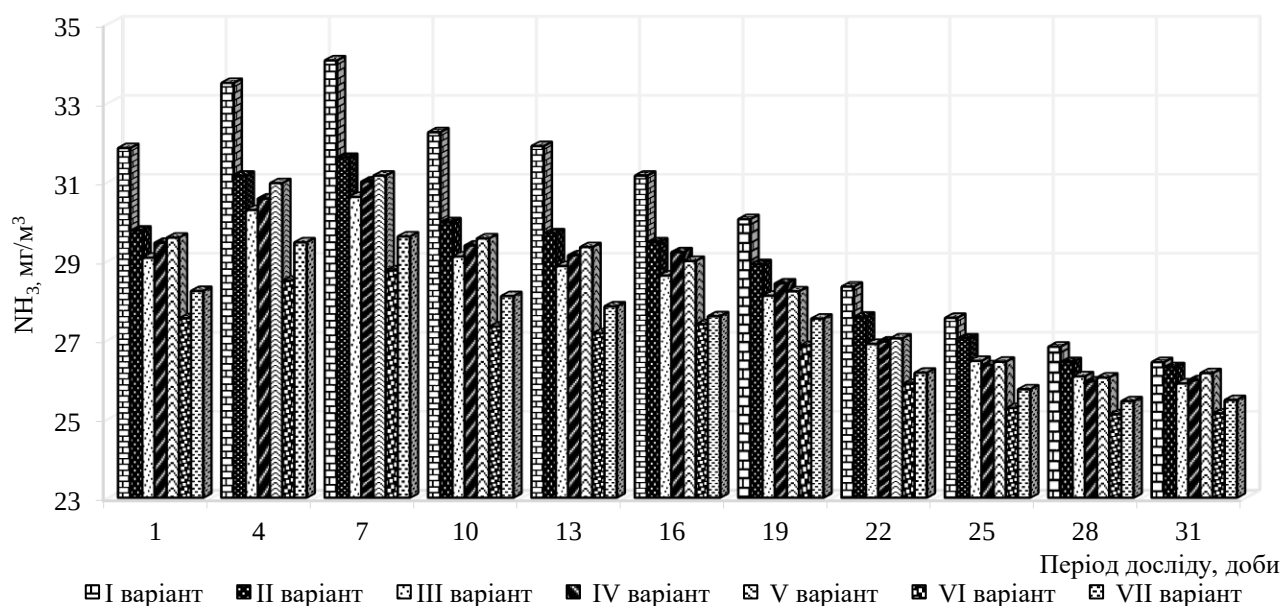


Рис. 1. Рівень емісії NH₃ з гною свиней у варіантах із застосуванням різних доз біопрепаратів – АгроМар D та Редуклін-Компост

У результаті використання біопрепарату АгроМар D у різних дозах – 20 мл/м³; 40 та 60 мл/м³ відбувається зменшення емісії аміаку (рис. 1) з гною свиней (*in vitro*), щодо контролю, залежно від доби експерименту, відповідно, на 6,6 %, 8,7 (P<0,05) і 7,5 % (P<0,05) – 1 доба, на 7,3 % 10,2 та 9,1 % – 7 доба, на 0,5 %; 2,0 й 1,7 % – 31 доба. Додавання до органічних відходів свиней біопрепарату Редуклін-Компост в аналогічних кількостях (20–60 мл/м³) сприяє нижчому рівню виділення NH₃, у порівнянні з контрольним варіантом, а саме: 1 доба – на 7,1 %; 13,5 (P<0,01) і 11,4 %, з підвищенням ефективності дії на 7 добу, відповідно до – 8,7 %; 15,7 (P<0,001) та 13,2 % (P<0,01), а в останню добу досліджень – на 1,1 %; 4,9 й 3,7 %.

У процесі проведення дослідження встановлено, що при внесенні у

досліджуваний субстрат гною свиней біопрепарату АгроМар D (рис. 2) у різних дозах – 20 мл/м³; 40 та 60 мл/м³ спостерігається зменшення емісії H₂S (*in vitro*), залежно від доби, відповідно, на 7,1 % (P<0,01); 10,9 (P<0,01) і 9,9 % (P<0,01) – 1 доба, на 8,3 % (P<0,01); 12,2 (P<0,01) та 11,4 % (P<0,01) – 7 доба, на 1,1 %; 2,3 й 1,6 % – 31 доба, проти контролю. Використання Редуклін-Компосту у вище зазначених кількостях (20–60 мл/м³) обумовлює зниження рівня викидів сірководню з органічних відходів свиней, відповідно 1 доба – на 13,7 % (P<0,001); 18,8 (P<0,001) і 16,1 % (P<0,001), 7 доба – на 14,5 % (P<0,001); 20,8 (P<0,001) та 18,3 % (P<0,001), 31 доба експерименту – на 3,2 %; 5,9 (P<0,05) й 4,7 %, відносно контрольного аналога.

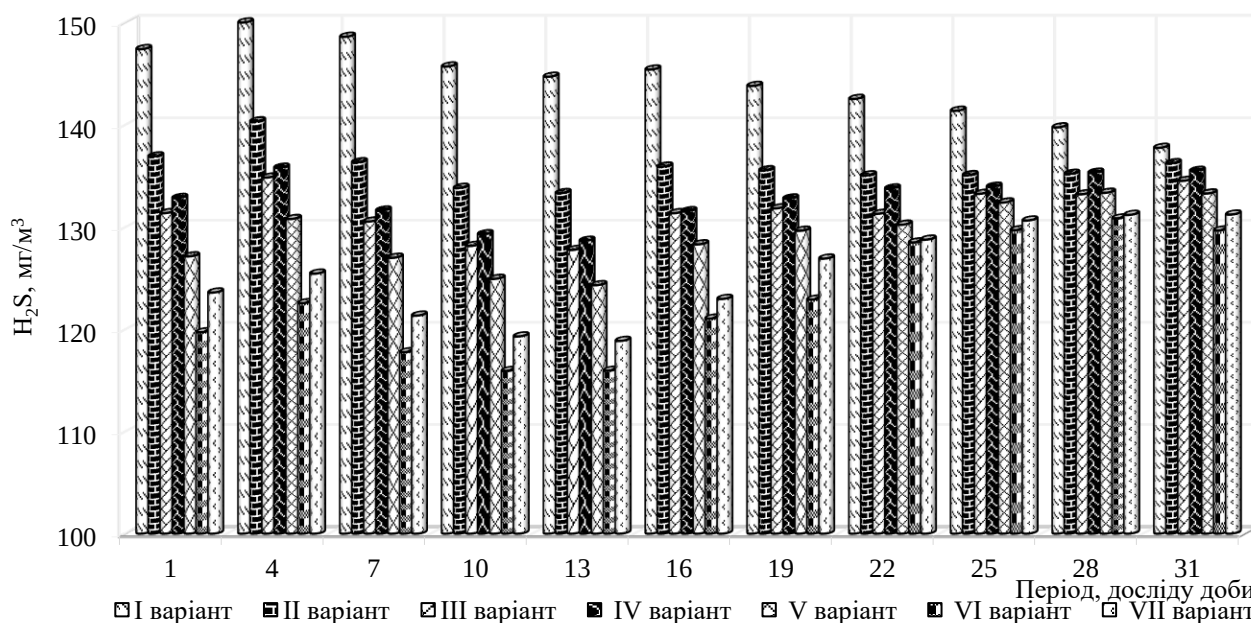


Рис. 2. Рівень емісії H₂S з гною свиней у варіантах із застосуванням різних доз біопрепаратів – АгроМар D та Редуклін-Компост

На підставі проведених досліджень слід відзначити зменшення емісії NO (рис. 3) з продуктів життєдіяльності свиней при додаванні біопрепарату АгроМар D. Зокрема, при додаванні різних доз – 20 мл/м³; 40 і 60 мл/м³ досліджуваного препарату, рівень викидів цього парникового газу з гною (*in vitro*), залежно

від доби, нижчий, відповідно на 7,5 %; 10,8 і 9,6 % – 1 доба, на 8,1 %; 11,5 та 10,4 % – 7 доба, на 1,0 %; 1,2 й 1,1 % – 31 доба, порівняно з контрольним варіантом. Внаслідок внесення в органічні відходи свиней біопрепарату Редуклін-Компост в аналогічних кількостях (20–60 мл/м³) спостерігається зменшення виходу оксиду

азоту, відносно контролю, а саме: 1 доба – на 11,3 %, 31 доба дослідження – на 0,8 %; 2,0 й 7,0 %; 12,7 і 9,9 %, 7 доба – на 7,9 %; 13,3 та 1,1 %.

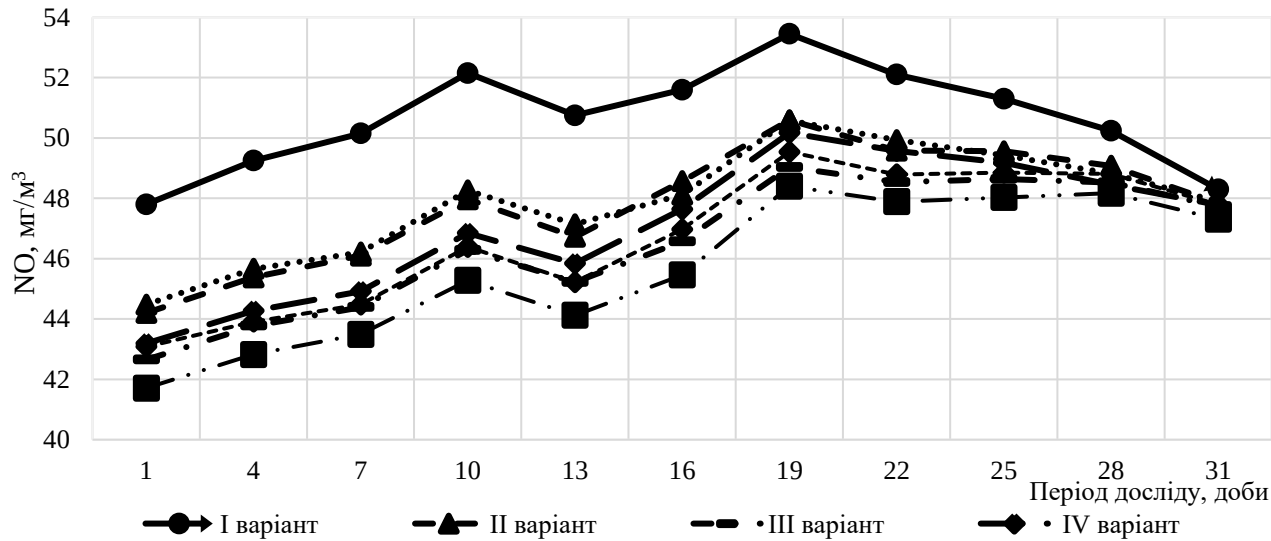


Рис. 3. Рівень емісії NO з гною свиней у варіантах із застосуванням різних доз біопрепаратів – АгроМар D та Редуклін-Компост

За результатами проведених досліджень встановлено, що використання біопрепарату АгроМар D у різних дозах – 20 мл/м³; 40 і 60 мл/м³ призводить до нижчої емісії, такого парникового газу, як метан (табл.) з гною свиней (*in vitro*), залежно від доби, а саме: на 3,9 %; 6,0 та 5,7 % – 1 доба, на 4,2 %; 6,9 й 6,6 % (P<0,05) – 7 доба, на 0,4 %; 0,9 й 0,7 % – 31

доба, порівняно з контрольним аналогом. При внесенні у продукти життєдіяльності свиней біопрепарату Редуклін-Компост у зазначених вище кількостях (20–60 мл/м³), відбувається зменшення викидів CH₄, щодо контрольного варіанту, відповідно, 1 доба – на 6,1 %; 9,9 та 7,9 %, 7 доба – на 6,2 %; 10,3 (P<0,05) і 8,2 % (P<0,05), 31 доба – на 0,7 %; 3,7 й 1,5 %.

Рівень емісії CH₄ та CO₂ з гною свиней у варіантах із застосуванням різних доз біопрепаратів – АгроМар D та Редуклін-Компост, M±m, n=3

Період дослідження, доби	Показники рівня емісії парникових газів з гною свиней, л/м ³					
	CH ₄			CO ₂		
	Контроль	АгроМар D	Редуклін-Компост	Контроль	АгроМар D	Редуклін-Компост
		20 мл/м ³ 40 мл/м ³ 60 мл/м ³	20 мл/м ³ 40 мл/м ³ 60 мл/м ³		20 мл/м ³ 40 мл/м ³ 60 мл/м ³	20 мл/м ³ 40 мл/м ³ 60 мл/м ³
1	2	3	4	5	6	7
1	3,4±0,02	3,27±0,28	3,19±0,30	12,7±0,73	11,95±0,54	11,63±0,70
		3,20±0,15	3,06±0,13		11,34±0,66	11,09±0,66
		3,21±0,48	3,13±0,23		11,60±0,38	11,34±0,71
4	4,6±0,05	4,41±0,47	4,32±0,35	11,54±0,52	10,82±0,54	10,49±0,76
		4,29±0,31	4,14±0,65		10,17±0,35	10,00±0,55
		4,30±0,36	4,23±0,30		10,45±0,75	10,23±0,88
7	5,5±0,03	5,27±0,37	5,16±0,27	10,68±0,60	9,95±0,14	9,66±0,41
		5,12±0,19	4,94±0,18*		9,28±0,33	9,15±0,38
		5,14±0,11*	5,05±0,10*		9,55±0,22	9,33±0,64

1	2	3	4	5	6	7
10	7,30±0,05	7,00±0,26	6,86±0,35	8,65±0,48	8,08±0,68	7,84±0,63
		6,81±0,26	6,56±0,36		7,52±0,33	7,42±0,27
		6,82±0,39	6,70±0,18*		7,75±0,33	7,57±0,33
13	6,80±0,04	6,53±0,41	6,39±0,61	9,25±0,38	8,68±0,91	8,40±0,60
		6,36±0,31	6,12±0,61		8,08±0,62	7,95±0,17*
		6,36±0,33	6,25±0,22		8,32±0,62	8,13±0,28
16	5,65±0,06	5,44±0,44	5,33±0,31	10,35±0,48	9,79±0,52	9,47±0,34
		5,34±0,21	5,11±0,23		9,30±0,61	9,00±0,29
		5,36±0,26	5,22±0,32		9,40±0,27	9,26±0,31
19	5,15±0,04	4,97±0,23	4,89±0,39	10,95±0,48	10,46±0,4	10,17±0,21
		4,88±0,29	4,68±0,25		9,99±0,24	9,66±0,23
		4,91±0,37	4,78±0,36		10,02±0,13	9,93±0,32
22	4,95±0,04	4,79±0,40	4,71±0,22	11,48±0,67	11,00±0,45	10,69±0,30
		4,71±0,12	4,56±0,39		10,72±0,77	10,38±0,25
		4,73±0,52	4,64±0,24		10,75±0,80	10,52±0,43
25	4,84±0,05	4,71±0,32	4,63±0,29	12,75±0,18	12,25±0,48	11,96±0,79
		4,66±0,24	4,51±0,28		12,04±0,29	11,65±0,25*
		4,69±0,25	4,58±0,39		12,06±0,35	11,84±0,50
28	4,67±0,05	4,57±0,31	4,52±0,26	13,25±0,63	12,78±0,78	12,69±0,45
		4,55±0,17	4,42±0,25		12,67±0,97	12,44±0,63
		4,56±0,21	4,45±0,42		12,74±0,25	12,58±0,74
31	4,5±0,02	4,48±0,33	4,47±0,31	14,1±0,85	13,94±0,73	13,67±0,54
		4,46±0,40	4,33±0,26		13,54±0,73	13,60±0,24
		4,47±0,36	4,43±0,35		13,85±0,30	13,57±0,73

Примітка. Різниця вірогідна щодо контролю – * $P < 0,05$.

Рівень емісії діоксиду вуглецю за анаеробної ферментації гною свиней (*in vitro*) при додаванні різних кількостей – 20 мл/м³; 40 і 60 мл/м³ біопрепарату АгроМар D є нижчим, залежно від доби експерименту, а саме: на 5,9 %; 10,7 та 8,7 % – 1 доба, на 6,9 %; 13,1 і 10,6 % – 7 доба, на 1,2 %; 4,0 й 1,8 % – 31 доба, відносно контролю. Водночас із цим, у варіантах із використанням біопрепарату Редуклін-Компостом в аналогічних кількостях (20–60 мл/м³), спостерігається зменшення виділення CO₂ з органічних відходів свиней, відповідно, 1 доба – на 8,5 %; 12,7 та 10,7 %, 7 доба – на 9,5 %; 14,4 і 12,6 %, 31 доба – на 3,1 %; 3,6 й 3,8 %, щодо контролю.

Підсумовуючи одержані експериментальні дані у процесі проведення дослідження слід зазначити, що за зниження рівня емісії досліджуваних шкідливих газів – NH₃, H₂S, NO, CH₄, CO₂ з

гною свиней при анаеробній ферментації (*in vitro*) внаслідок застосування біопрепаратів – АгроМар D та Редуклін-Компост відбувається пригнічення ферментативних процесів, підтвердженням цьому є рівень показника кислотності, який є ключовим фактором, що визначає спрямованість бродіння (рис. 4). Зокрема, рН гною свиней (*in vitro*) у всіх варіантах до внесення досліджуваних препаратів на початку експерименту, а в контролі й після його завершення, знаходилося в межах – 6,2–6,5. Однак, внесення використаних біопрепаратів обумовлює зменшення водневого показника, а саме: у варіантах із біопрепаратом АгроМар D – до 6,07, а з біопрепаратом Редуклін-Компост – до 5,72, що свідчить про пригнічення життєдіяльності мікроорганізмів за рахунок зростання концентрації іонів H⁺. Таким чином, необхідно зазначити, що досліджувані препарати – АгроМар D та

Редуклін-Компост у дозі, що в найбільшій мірі зменшувала рівень емісії шкідливих газів – NH_3 , H_2S , NO , CH_4 , CO_2 з гною

свиней (*in vitro*) одночасно забезпечувала і найнижчий показник рН.

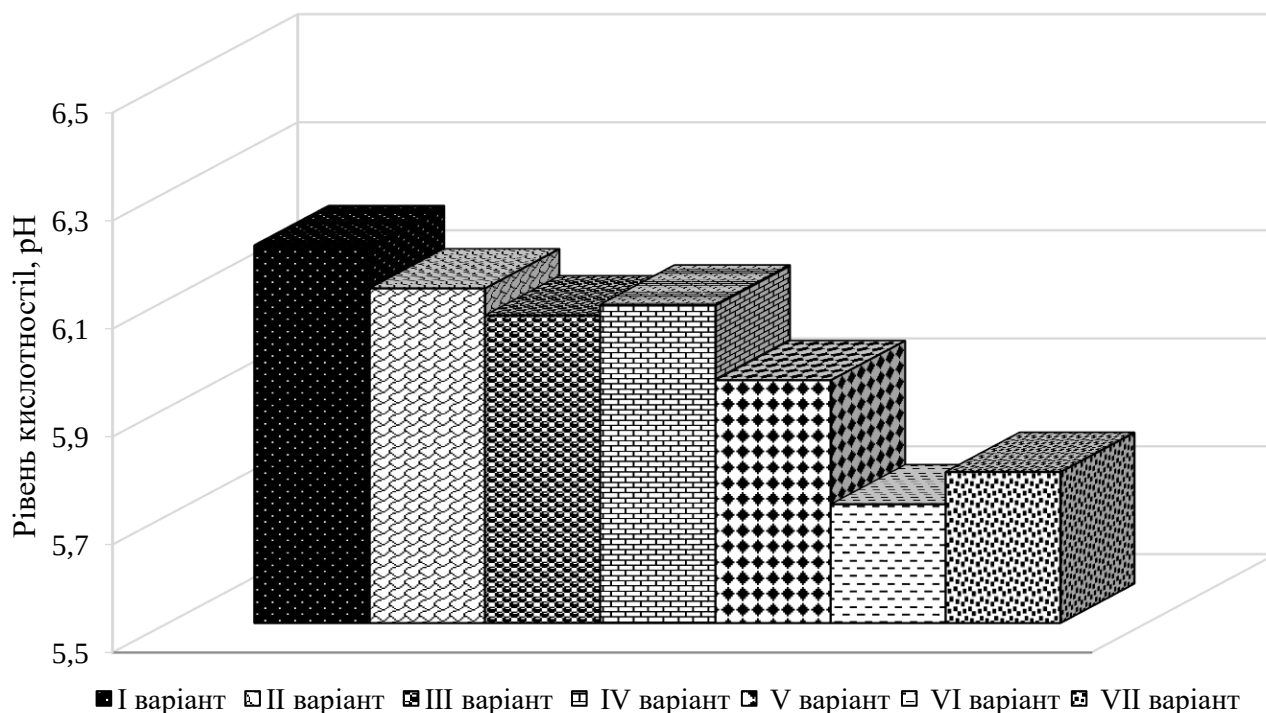


Рис. 4. Рівень кислотності гною свиней у варіантах із застосуванням досліджуваних біопрепаратів – АгроМар D та Редуклін-Компост

Отже, аналіз результатів досліджень свідчить, що застосовані біопрепарати – АгроМар D та Редуклін-Компост у різних дозах – 20 $\text{мл}/\text{м}^3$; 40 і 60 $\text{мл}/\text{м}^3$ проявляють позитивний вплив на зменшення рівня виділення шкідливих газів – NH_3 , H_2S , NO , CH_4 , CO_2 з гною свиней за анаеробної ферментації (*in vitro*). Експериментально встановлено, що найефективніша дія на зниження емісії вищезазначених газів з органічних відходів галузі свинарства спостерігається у варіантах із біопрепаратами – АгроМар D та Редуклін-Компост у дозі – 40 $\text{мл}/\text{м}^3$, тоді як збільшення кількості їх внесення – до 60 $\text{мл}/\text{м}^3$ не показало кращих результатів.

Порівняльна оцінка досліджуваних біопрепаратів – АгроМар D та Редуклін-Компост свідчить про ефективніший вплив на зменшення викидів шкідливих газів – NH_3 , H_2S , NO , CH_4 , CO_2 з гною свиней (*in vitro*) біопрепарату Редуклін-Компост. Зокрема, біопрепарат Редуклін-Компост

забезпечує зниження рівня емісії NH_3 з відходів свиней, відносно контролю, до 15,7 % проти 10,2 % – за додавання біопрепарату АгроМар D, H_2S – до 20,8 % та 12,2 %, NO – до 13,3 % і 11,5 %, CH_4 – 10,3 % та 6,9 %, CO_2 – 14,4 % й 13,1 %, відповідно. Таким чином, Редуклін-Компост ефективніше впливає на зменшення викидів досліджуваних шкідливих газів зі зброженого гноєвого субстрату свиней на 3,4–7,7 %, порівняно з біопрепаратом АгроМар D.

Наведені результати узгоджуються із дослідженнями Portejoie et al. (2003), які для забезпечення нижчого рівня емісії NH_3 з гноївки свиней в лабораторних умовах використовували олію, плівку, торф та цеоліт, а найкращі результати показали зазначені природні сорбенти [33]. Також встановлено ефективну дію на зменшення викидів аміаку з органічних відходів галузі свинарства, які зберігалися у резервуарах подрібненої соломи злаків та

монтморилонової глини [27], базальтового туфу [2]. У дослідженнях Shah and Kolar (2012) добавка ManureMax обумовлювала зниження емісії метану з гною свиней, однак застосування останньої є неефективним на викиди закису азоту і вуглекислого газу [40].

Отже, на основі проведених досліджень теоретично обґрунтовано та експериментально доведено перспективність застосування досліджуваних біопрепаратів, зокрема Редуклін-Компосту для зменшення рівня викидів шкідливих газів як безпосередньо в приміщеннях, де утримуються свині, так і в гноєсховищах (лагунах) при зберіганні побічної продукції тваринного походження. Це дасть можливість не лише мінімізувати виділення шкідливих газів в довкілля й запобігти змінам клімату, але й

покращить екологічні стандарти на фермі, що сприятиме збереженню здоров'я тварин та їх генетичного потенціалу продуктивності, а відтак підвищить рентабельність галузі свинарства.

Висновки. Експериментально підтверджено ефективну дію на зменшення виходу шкідливих газів – NH_3 , H_2S , NO , CH_4 , CO_2 з гною свиней за анаеробної ферментації (*in vitro*) різних доз досліджуваних біопрепаратів – АгроМар D та Редуклін-Компост. На основі проведених досліджень встановлено, що використання досліджуваних біопрепаратів – АгроМар D та Редуклін-Компост у дозі – 40 мл/м³ зумовлює найнижчий рівень виділення газів – NH_3 , H_2S , NO , CH_4 , CO_2 із продуктів життєдіяльності (гною) свиней, відповідно на 6,9–13,1 % і 10,3–20,8 %.

Список використаної літератури

1. 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. Серія «Екологія»*. 2016. Вип. 14. С. 91–97.
2. Брошак І. С., Хом'як І. В. Утилізація рідких відходів свиногомплексів. Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції «*Прикладна економіка – від теорії до практики*» (м. Тернопіль, 27 жовтня 2017 р.). Тернопіль, 2017. С. 193–197.
3. 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.
4. Герман В. В. Екологічна безпека при виробництві тваринницької продукції. *Агроекологічний журнал*. 2009. № 2. С. 5–8.
5. Державний комітет статистики України [Електронний ресурс] / Офіційний сайт. URL: <http://ukrstat.gov.ua>. (дата звернення: 14.08.2024).
6. До питання розрахунку викидів парникових газів відходів тваринництва / М. О. Захаренко та ін. *Біоресурси і природокористування*. 2014. Т. 6, № 3–4. С. 63–70.
7. 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.
8. Захарченко О. В. Утилізація відходів природного походження аграрних формувань: проблемний аспект. *Вісник ХНАУ ім. В. В. Докучаєва*. 2017. № 1. С. 58–67.

References

1. Binkovska H. V., Shanina T. P. Evaluation of greenhouse gas emissions in the systems of handling with agricultural wastes in Odessa region. *Visnyk KhNU imeni V. N. Karazina. Seriya «Ekologhiia»*. 2016. Issue 14. P. 91–97.
2. Broschak I. S., Khomyak I. V. Utilization of liquid waste from pig farms. *Materialy Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii «Prykladna ekonomika – vid teorii do praktyky»* (m. Ternopil, 27 zhovtnia 2017 r.). Ternopil, 2017. P. 193–197.
3. Buzovskyi E. A., Vytvytska O. D., Skrypnychenko V. A. Non-traditional sources of energy – requirements of the time. *Naukovyi visnyk Natsionalnoho ahrarnoho universytetu Ukrainy*. 2008. Issue 119. P. 289–294.
4. Herman V. V. Ecological safety in the production of livestock products. *Ahroekologichnyi zhurnal*. 2009. No. 2. P. 5–8.
5. State Statistics Committee of Ukraine [Electronic resource] / Official site. URL: <http://ukrstat.gov.ua>. (last accessed: 14.08.2022).
6. On the question of calculation the greenhouse gas emissions of livestock waste / M. O. Zakharenko et al. *Bioresursy i pryrodokorystuvannia*. 2014. Vol. 6, No. 3–4. P. 63–70.
7. Dubin O. M., Vasylenko O. V. Ecological assessment of the composition of atmospheric air in the area of livestock complexes. *Zbirnyk naukovykh prats Umanskoho natsionalnoho universytetu sadivnytstva*. 2014. Issue 85. P. 20–25.
8. Zakharchenko O. V. Utilization of waste of natural origin of agrarian formations : problematic aspect. *Visnyk XNAU imeni V. V. Dokuchaieva*. 2017. No. 1. P. 58–67.

9. 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.

10. 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 Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С. З. Гжицького*. 2012. Т. 14, № 3. С. 353–361.

11. Метан і парниковий ефект атмосфери (екологічні, біохімічні та мікробіологічні аспекти) / Л. І. Сологуб та ін. Львів : ПАІС, 2008. 276 с.

12. Михайлова Є. О. Викиди парникових газів в Україні та світі. Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції «Проблеми техногенно-екологічної безпеки : освіта, наука, практика» (м. Харків, 24 листопада 2016 р.). Харків, 2016. С. 183–184.

13. Михалко О. Г. Сучасний стан та шляхи розвитку свинарства в світі та Україні. *Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія «Тваринництво»*. 2021. Вип. 3 (46). С. 61–77.

14. Нейтралізація запахів рідких відходів свиногокомплексів з використанням біопрепарату «Біопрогрес» / І. С. Брошчак та ін. Тези доповідей X Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції «Сучасний рух науки» (м. Дніпро, 2–3 квітня 2020 р.). Дніпро, 2020. Т. 1. С. 167–171.

15. Никифорок О. В., Жукорський О. М. Емісія парникових газів від свиноферм різної потужності. *Науковий вісник «Асканія-Нова»*. 2014. Вип. 7. С. 244–252.

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

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

18. 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.

19. Скіяр О. В., Скіяр Р. В., Григоренко С. М. Програма та методика експериментальних досліджень на лабораторній біогазовій установці. *Вісник Харківського національного університету с.-г. імені П. Василенка*. 2019. Вип. 199. С. 267–275.

20. Стасів О. Ф., Котько Н. М. Агровиробничі ризики та можливості глобальних змін клімату для розвитку сільськогосподарського сектора України. *Scientific Collection «InterConf»*. 2020. № 3 (39). С. 162–164.

9. Korbych N. M. Ecological problems in animal husbandry. *Materialy IV mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii «Ekolohichni problemy navkolyshnoho seredovyscha ta ratsionalnoho pryrodokorystuvannia v konteksti staloho rozvytku»* (m. Kherson, 21–22 zhovtnia 2021 r.). Kherson, 2021. P. 143–146.

10. Maksishko L. M., Malyk O. H. Biological utilization of harmful greenhouse gases, which are part of biogas, as well as hydrogen sulfide and ammonia in water by an association of biologically useful microorganisms. *Naukovyi visnyk Lvivskoho natsionalnoho universytetu veterynarnoi medytsyny ta biotekhnolohii imeni S. Z. Gzhyskoho*. 2012. Vol. 14, No. 3. P. 353–361.

11. Methane and the greenhouse effect of the atmosphere (environmental, biochemical and microbiological aspects) / L. I. Solohub et al. Lviv : PAIS, 2008. 276 p.

12. Myxailova Ye. O. Greenhouse gas emissions in Ukraine and the world. *Materialy Vseukrainskoi naukovo-praktychnoi konferentsii «Problemy tekhnogenno-ekolohichnoi bezpeky : osvita, nauka, praktyka»* (m. Kharkiv, 24 lystopada 2016 r.). Kharkiv, 2016. P. 183–184.

13. Mykhalko O. H. Current state and ways of pig breeding in the world and Ukraine. *Visnyk Sumskoho natsionalnoho ahrarnoho universytetu. Seriiia «Tvarynnytstvo»*. 2021. Issue 3 (46). P. 61–77.

14. Neutralization of odors of liquid waste from pig farms using the biological preparation “Bioprogres” / I. S. Broshchak et al. Tezy dopovidei X Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi internet-konferentsii «Suchasnyi rukh nauky» (m. Dnipro, 2–3 kvitnia 2020 r.). Dnipro, 2020. Vol. 1. P. 167–171.

15. Nykiforuk O. V., Zhukorskiy O. M. Greenhouse gases emissions from pig farms of different capacity. *Naukovyi visnyk «Askaniia-Nova»*. 2014. Issue 7. P. 244–252.

16. Omarov A. E. State of ecological safety in Ukraine. *Visnyk Natsionalnoho universytetu tsyvilnoho zakhystu Ukrainy*. 2017. No. 2. P. 156–164.

17. Palapa N. V., Pron N. B., Ustymenko O. V. Industrial animal husbandry : ecological and economic consequences. *Zbalansovane pryrodokorystuvannia*. 2016. No. 3. P. 64–67.

18. Pinchuk V. O., Borodai V. P. Emission of ammonia and greenhouse gases from by-products of animal origin. *Tavriiskyi naukovyi visnyk*. 2019. No. 110, P. 2. P. 190–198.

19. Skliar O. V., Skliar R. V., Grigorenko S. M. Program and method of experimental researches on laboratory biogas installation. *Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho universytetu s.-h. imeni P. Vasylenka*. 2019. Vol. 199. P. 267–275.

20. Stasiv O. F., Kotko N. M. Agricultural risks and opportunities of global climate change for the development of the agricultural sector of Ukraine. *Scientific Collection «InterConf»*. 2020. No. 3 (39). P. 162–164.

21. Сучасний стан та тенденції розвитку вітчизняного свинарства / В. Я. Лихач та ін. *Вісник Сумського національного аграрного університету*. 2021. № 1 (44). С. 69–79.
22. 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.
23. Турос О. І., Слаутенко Є. Г., Михіна Л. І. Гігієнічна оцінка впливу викидів від сучасних свинокомплексів на забруднення атмосферного повітря. *Довкілля та здоров'я*. 2018. Вип. 2 (87). С. 71–75.
24. Ходорчук В. Я., Алієва І. В., Марткоплішвілі М. М. Мінімізація емісії парникових газів у сільському господарстві. *Аграрний вісник Півдня*. 2014. № 1. С. 168–173.
25. Шуляр А. Л., Андрійчук В. Ф., Ковальчук І. В. Особливості ведення органічного свинарства в Україні. Матеріали V Міжнародної науково-практичної конференції «Органічне виробництво і продовольча безпека». Житомир: ЖНАЕУ, 2017. С. 146–149.
26. 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.
27. Ammonia volatilization during storage of cattle and pig slurry: effect of surface cover / S. G. Sommer et al. *The Journal of Agricultural Science*. 1993. Vol. 121 (1). P. 63–71.
28. Animal waste as a source of greenhouse gas emissions and a factor of climate change / M. I. Vorobel et al. *Scientific Papers. Series D. Animal Science*. 2023. Vol. LXVI, No. 2. P. 428–435.
29. Biochemical aspects of mitigation of methane emission in atmosphere by ruminants / G. Bogdanov et al. Conference paper the 3rd International Conference «Greenhouse gases and animal agriculture GGAA2007» (t. Christchurch, November 2007). Christchurch, New Zealand, 2007. P. XXIX.
30. 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. DOI: 10.1073/PNAS.1308149110.
31. Blunden J., Aneja V. P. Characterizing ammonia and hydrogen sulfide emissions from a swine waste treatment lagoon in North Carolina. *Atmospheric environment*. 2008. Vol. 42 (14). P. 3277–3290.
32. Caro D. Greenhouse gas and livestock emissions and climate change. *Encyclopedia of food security and sustainability*. 2019. Vol. 1. P. 228–232. DOI: 10.1016/B978-0-08-100596-5.22012-X.
33. Effect of covering pig slurry stores on the ammonia emission processes / S. Portejoie et al. *Bioresour. Technol.* 2003. Vol. 87 (3). P. 199–207. DOI: 10.1016/S0960-8524(02)00260-2.
34. Greenhouse gas emissions from different pig manure management techniques : a critical analysis
21. Current state and development trends of domestic pig farming / V. Ya. Lykhach et al. *Visnyk Sumskoho natsionalnoho ahrarnoho universytetu*. 2021. No. 1 (44). P. 69–79.
22. Tymoshchuk O. A., Tymoshchuk O. B., Matviichuk B. V. Greenhouse gas emissions from agricultural activities and their dynamics during 1990–2020. *Ukrainskyi zhurnal pryrodnychkh nauk*. 2022. Issue 1. P. 174–186.
23. Turoso O. I., Slautenko Ye. H., Mykhina L. I. Hygienic assessment of the impact of emissions from modern pig farms on atmospheric air pollution. *Dovkillia ta zdorovia*. 2018. Issue 2 (87). P. 71–75.
24. Khodorchuk V. Ya., Aliieva I. V., Martkoplshvili M. M. Minimization of greenhouse gas emissions from agriculture. *Agrarnyi visnyk Pivdnia*. 2014. No. 1. P. 168–173.
25. Shuliar A. L., Andriichuk V. F., Kovalchuk I. V. Peculiarities of organic pig farming in Ukraine. Materialy V Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii «Orhanichne vyrobnytstvo i prodovolcha bezpeka». Zhytomyr : ZhNAEU, 2017. P. 146–149.
26. 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.
27. Ammonia volatilization during storage of cattle and pig slurry: effect of surface cover / S. G. Sommer et al. *The Journal of Agricultural Science*. 1993. Vol. 121 (1). P. 63–71.
28. Animal waste as a source of greenhouse gas emissions and a factor of climate change / M. I. Vorobel et al. *Scientific Papers. Series D. Animal Science*. 2023. Vol. LXVI, No. 2. P. 428–435.
29. Biochemical aspects of mitigation of methane emission in atmosphere by ruminants / G. Bogdanov et al. Conference paper the 3rd International Conference «Greenhouse gases and animal agriculture GGAA2007» (t. Christchurch, November 2007). Christchurch, New Zealand, 2007. P. XXIX.
30. 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. DOI: 10.1073/PNAS.1308149110.
31. Blunden J., Aneja V. P. Characterizing ammonia and hydrogen sulfide emissions from a swine waste treatment lagoon in North Carolina. *Atmospheric environment*. 2008. Vol. 42 (14). P. 3277–3290.
32. Caro D. Greenhouse gas and livestock emissions and climate change. *Encyclopedia of food security and sustainability*. 2019. Vol. 1. P. 228–232. DOI: 10.1016/B978-0-08-100596-5.22012-X.
33. Effect of covering pig slurry stores on the ammonia emission processes / S. Portejoie et al. *Bioresour. Technol.* 2003. Vol. 87 (3). P. 199–207. DOI: 10.1016/S0960-8524(02)00260-2.
34. 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.

35. 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.

36. Marszałek M., Kowalski Z., Makara A. Emission of greenhouse gases and odorants from pig slurry – effect on the environment and methods of its reduction. *Ecol. Chem. Eng. S.* 2018. Vol. 25, № 3. P. 383–394. DOI: 10.1515/eces-2018-0026.

37. 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.

38. Odor reduction rate in the confinement pig building by spraying various additives / K. Y. Kim et al. *Bioresource Technology*. 2008. Vol. 99 (17). P. 8464–8469. DOI: 10.1016/j.biortech.2007.12.082.

39. Reducing greenhouse gas emissions from pig slurry by acidification with organic and inorganic acids / F. R. Dalby et al. *PLoS ONE*. 2022. Vol. 17 (5), e0267693. DOI: 10.1371/journal.pone.0267693.

40. Shah S. B., Kolar P. Evaluation of additive for reducing gaseous emissions from swine waste. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*. 2012. Vol. 14 (2). P. 10–20.

41. 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: <https://www.fao.org/4/i3437e/i3437e.pdf>.

/ C. Dennehy et al. *Frontiers of Environmental Science and Engineering*. 2017. Vol. 11 (3), Issue 11. P. 11–16.

35. 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.

36. Marszałek M., Kowalski Z., Makara A. Emission of greenhouse gases and odorants from pig slurry – effect on the environment and methods of its reduction. *Ecol. Chem. Eng. S.* 2018. Vol. 25, № 3. P. 383–394. DOI: 10.1515/eces-2018-0026.

37. 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.

38. Odor reduction rate in the confinement pig building by spraying various additives / K. Y. Kim et al. *Bioresource Technology*. 2008. Vol. 99 (17). P. 8464–8469. DOI: 10.1016/j.biortech.2007.12.082.

39. Reducing greenhouse gas emissions from pig slurry by acidification with organic and inorganic acids / F. R. Dalby et al. *PLoS ONE*. 2022. Vol. 17 (5), e0267693. DOI: 10.1371/journal.pone.0267693.

40. Shah S. B., Kolar P. Evaluation of additive for reducing gaseous emissions from swine waste. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*. 2012. Vol. 14 (2). P. 10–20.

41. 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: <https://www.fao.org/4/i3437e/i3437e.pdf>.